

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 2 月 7 日
Date of Application:

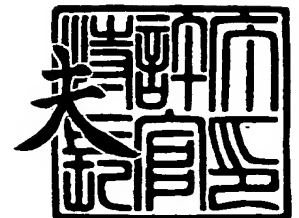
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 3 1 4 0 6
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 3 1 4 0 6]

出 願 人 株 式 会 社 ダイヘン
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 2 月 1 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 F09165

【提出日】 平成15年 2月 7日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G05F 1/66

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 1 1 号 株式会社ダイヘン内

【氏名】 小谷 弘幸

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 1 1 号 株式会社ダイヘン内

【氏名】 武居 宏卓

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 1 1 号 株式会社ダイヘン内

【氏名】 伊藤 宏行

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 1 1 号 株式会社ダイヘン内

【氏名】 池成 達也

【特許出願人】

【識別番号】 000000262

【氏名又は名称】 株式会社ダイヘン

【代理人】**【識別番号】** 100073450**【住所又は居所】** 東京都港区虎ノ門2丁目5番2号 エアチャイナビル9
階 松本特許事務所**【弁理士】****【氏名又は名称】** 松本 英俊**【電話番号】** 03-3595-4703**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 008992**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 要約書 1**【物件名】** 図面 1**【包括委任状番号】** 9712147**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 高周波電源装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 高周波信号を出力する発振部と、前記発振部の出力を増幅して負荷に高周波出力を供給する増幅部と、前記増幅部に直流電源電圧を供給する直流電源部とを備えた高周波電源装置において、

前記増幅部で生じている損失を演算する損失演算部と、

前記損失演算部により演算された損失演算値が予め設定された損失設定値を超えたときに前記損失演算値が前記損失設定値に等しくなるまで前記直流電源部から前記増幅部に供給する直流電源電圧を低下させる制御を行い、前記損失演算値が前記損失設定値以下のときには前記直流電源部から前記増幅部に供給する直流電源電圧を適値に設定された直流電圧設定値に保つ制御を行う第 1 の制御部と、

前記増幅部から負荷に供給される高周波出力を高周波出力設定値に近づけるように前記発振部または増幅部の出力を制御する第 2 の制御部と、

を備えてなる高周波電源装置。

【請求項 2】 高周波信号を出力する発振部と、前記発振部の出力を増幅して負荷に高周波出力を供給する増幅部と、前記増幅部に直流電源電圧を供給する直流電源部とを備えた高周波電源装置において、

前記増幅部を構成している半導体素子で生じている損失を演算する損失演算部と、

前記損失演算部により演算された損失演算値が予め設定された損失設定値を超えたときに前記損失演算値が前記損失設定値に等しくなるまで前記直流電源部から前記増幅部に供給する直流電源電圧を低下させる制御を行い、前記損失演算値が前記損失設定値以下のときには前記直流電源部から前記増幅部に供給する直流電源電圧を適値に設定された直流電圧設定値に保つ制御を行う第 1 の制御部と、

前記増幅部から負荷に供給される高周波出力を高周波出力設定値に近づけるように前記発振部または増幅部の出力を制御する第 2 の制御部と、

を備えてなる高周波電源装置。

【請求項 3】 高周波信号を出力する発振部と、前記発振部の出力を増幅して

負荷に高周波出力を供給する増幅部と、前記増幅部に直流電源電圧を供給する直流電源部とを備えた高周波電源装置において、

前記増幅部で生じている損失を演算する損失演算部と、

前記損失演算部により演算された損失演算値が予め設定された第1の損失設定値よりも小さいときに前記直流電源部から増幅部に供給される直流電源電圧を適値に設定された直流電圧設定値に保つ制御を行い、前記損失演算値が前記第1の損失設定値を超えているときには前記損失演算値を前記第1の損失設定値に等しくするべく、前記直流電源部の出力電圧を予め定めた下限値を下回らない範囲で低下させる制御を行う第1の制御部と、

前記直流電源電圧が前記下限値以上であるときには高周波出力検出部により検出される前記増幅部の高周波出力を高周波出力設定値に近づけるように前記発振部または前記増幅部の出力を制御し、前記直流電源電圧が前記下限値を下回ったときには、前記損失演算値を前記第1の損失設定値に等しいかまたは前記第1の損失設定値よりも僅かに大きい値に設定された第2の損失設定値に等しくするように前記発振部または前記増幅部の出力を制御する第2の制御部と、

を具備してなる高周波電源装置。

【請求項4】 高周波信号を出力する発振部と、前記発振部の出力を増幅して負荷に高周波出力を供給する増幅部と、前記増幅部に直流電源電圧を供給する直流電源部とを備えた高周波電源装置において、

前記増幅部を構成する半導体素子で生じている損失を演算する損失演算部と、

前記損失演算部により演算された損失演算値が予め設定された第1の損失設定値よりも小さいときに前記直流電源部から増幅部に供給される直流電源電圧を適値に設定された直流電圧設定値に保つ制御を行い、前記損失演算値が前記第1の損失設定値を超えているときには前記損失演算値を前記第1の損失設定値に等しくするべく、前記直流電源部の出力電圧を予め定めた下限値を下回らない範囲で低下させる制御を行う第1の制御部と、

前記直流電源電圧が前記下限値以上であるときには高周波出力検出部により検出される前記増幅部の高周波出力を高周波出力設定値に近づけるように前記発振部または前記増幅部の出力を制御し、前記直流電源電圧が前記下限値を下回った

ときには、前記損失演算値を前記第 1 の損失設定値に等しいかまたは前記第 1 の損失設定値よりも僅かに大きい値に設定された第 2 の損失設定値に等しくするように前記発振部または前記増幅部の出力を制御する第 2 の制御部と、

を具備してなる高周波電源装置。

【請求項 5】 前記損失設定値は、前記増幅部で生じる発熱が許容範囲の上限に達するときに該増幅部で生じる許容最大損失以下に設定されている請求項 1 に記載の高周波電源装置。

【請求項 6】 前記損失設定値は、前記増幅部を構成する半導体素子で生じる発熱が許容範囲の上限に達するときに該半導体素子で生じる許容最大損失以下に設定されている請求項 2 に記載の高周波電源装置。

【請求項 7】 前記第 1 の損失設定値及び第 2 の損失設定値は、前記増幅部で生じる発熱が許容範囲の上限に達するときに該増幅部で生じる許容最大損失以下に設定されている請求項 3 に記載の高周波電源装置。

【請求項 8】 前記第 1 の損失設定値及び第 2 の損失設定値は、前記増幅部を構成する半導体素子で生じる発熱が許容範囲の上限に達するときに該半導体素子で生じる許容最大損失以下に設定されている請求項 4 に記載の高周波電源装置。

【請求項 9】 前記直流電圧設定値は、前記高周波出力の波形を歪ませない範囲で前記増幅部の効率を最大にする値に設定されている請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 つに記載の高周波電源装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、負荷に高周波電力を供給する高周波電源装置に関し、特に、プラズマ発生装置やレーザ発振装置などの電源として用いるのに好適な高周波電源装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

プラズマ発生装置やレーザ発振装置等の電源として用いる高周波電源装置は、基本的には、図 13 に示したように、所定の周波数の高周波信号を出力する発振

部 1 と、この発振部の出力を増幅する増幅部 2 と、増幅部 2 に直流電源電圧 V_{dc} を供給する直流電源部 3 と、増幅部 2 が出力する高周波出力を検出する高周波出力検出部 4 と、高周波出力検出部 4 により検出される高周波出力を高周波出力設定値に保つように制御する制御部 5 とにより構成され、増幅部 2 の出力が負荷 6 に供給される。

【0003】

発振部 1 は、所定の周波数の高周波信号を発生する発振器と、必要に応じて該発振器の出力を増幅する増幅器とにより構成され、増幅部 2 は、電力増幅器 2 a により構成される。

【0004】

制御部 5 は、高周波出力設定値と高周波出力検出部 4 により検出された高周波出力とを入力として、増幅部 2 から負荷 6 に与えられる高周波出力が、高周波出力設定値に等しくなるように直流電源部 3 の出力電圧を制御したり、発振部 1 の出力を制御したり、増幅部 2 のゲインを制御したりする。

【0005】

高周波電源装置からプラズマ発生装置やレーザ発振装置などに電力を供給する場合、高周波電源装置の出力インピーダンスと負荷インピーダンス（電源装置の出力端から負荷側を見たインピーダンス）との整合がとれているときには、電源装置から出力された進行波電力がすべて負荷に吸収されるが、電源装置の出力インピーダンスと負荷インピーダンスとの整合がとれていないときには、電源装置の出力端で反射が生じ、負荷側から電源装置側に反射波電力が流れる。

【0006】

一般に高周波電源装置の負荷インピーダンスは一定ではなく、変動するのが普通であるため、反射波電力が生じるのを避けられない。反射波電力が生じた場合には、進行波電力から反射波電力を差引いたものが有効電力となる。

【0007】

通常、制御部 5 は、進行波電力または有効電力のいずれかを設定値に保つように制御する。即ち、進行波電力または有効電力のいずれかに対して設定値を定めて、出力に含まれる進行波電力または有効電力を当該設定値に保つように制御す

る。本明細書において、高周波出力設定値に保つように制御する高周波出力は、進行波電力でもよく、有効電力でもよい。

【0008】

図13に示すような基本構成を有する従来の高周波電源装置は、例えば特許文献1ないし特許文献4に示されている。

【0009】

上記のように、高周波電源装置の出力インピーダンスと負荷インピーダンスとの整合がとれていない場合には、電源装置の出力端で反射が生じ、負荷側から電源装置側に流れる反射波電力が生じる。反射波電力が増大すると増幅器が破損するため、プラズマ発生装置等の電源として用いる高周波電源装置においては、特許文献1や特許文献2に示されているように、反射波電力に対して増幅器を破損するおそれがない大きさの保護設定値を定めて、負荷から電源装置側への反射波電力が保護設定値を超えないように、電源装置から負荷に供給する高周波出力（進行波電力または有効電力）を制限する制御を行わせて、増幅器を反射波電力から保護するようにしていた。

【0010】

上記のような電源装置においては、反射波電力が保護設定値以下であれば電源装置から高周波出力設定値に等しい高周波出力（進行波電力または有効電力）を得ることができるが、反射波電力が保護設定値を超えたときには、電源装置から得ることができる高周波出力が高周波出力設定値よりも小さい値に制限される。

このような制御を行う従来の高周波電源装置においては、以下に示すような問題があった。

【0011】

a. 電源装置の出力端子間に接続される負荷のインピーダンスが変化する場合、反射係数の大きさが同じであっても、反射係数の位相角が変化すると、最大高周波出力（電源装置から出力することができる進行波電力または有効電力の最大値）が変化する。そのため、反射係数の大きさが同じであっても、負荷インピーダンスの変化により反射係数の位相角が変化すると最大高周波出力が変化し、反射係数の位相角が特定の値を示す負荷インピーダンスに対して最大高周波出力が

著しく小さくなる。

【0012】

b. 反射係数の位相角が特定の値を示す負荷に対して電源装置の最大高周波出力を大きくしようとする、増幅器で生じる損失が大きくなり、この損失により生じる発熱によって増幅器が破損するおそれがある。

【0013】

上記のような従来の高周波電源装置が有する問題点を、具体例を用いて更に詳細に説明する。

【0014】

図14は、図13に示した電源装置で用いる増幅器2aの回路構成例を示したものである。図14に示した増幅器は、周知のプッシュプル式増幅器で、一次コイルW11と中間タップ付きの二次コイルW12とを備えた入力トランスTaと、ソースが共通接続されて接地された1対のnチャンネル型電界効果トランジスタFETa及びFETbと、FETaのゲートとトランスTaの二次コイルW12の一端との間、及びFETbのゲートと二次コイルW12の他端との間にそれぞれ接続された抵抗Ra及びRbと、二次コイルW12の中間タップに抵抗Rcを通して正極端子が接続され、負極端子が接地されたバイアス電源Baと、トランスTaの二次コイルW12の一端と接地間及び他端と接地間にそれぞれ接続された抵抗Rd及びReと、FETaのドレインとFETbのドレインとの間に接続された中間タップ付きのコイルLaと、コイルLaの中間タップと接地間に、負極端子を接地側に向けて接続されて電源電圧Vdcを出力する直流電源Bbと、コイルLaの両端に一次コイルW21が接続された出力トランスTbとを備えており、出力トランスTbの二次コイルW22の両端に負荷6が接続されている。

【0015】

ここで、発振器から入力される入力電圧Vinの周波数及び電源装置の出力周波数を10MHz、直流電源電圧Vdcを200[V]、整合時の負荷インピーダンスを50Ω（純抵抗）とする。またバイアス電源BaからFETa及びFETbのゲートにバイアス電圧Vbを与えてB級動作を行わせるものとする。

【0016】

図16 (A) ないし (E) はそれぞれ、図14に示した増幅器を動作させたときのFETaのドレインソース間電圧 V_{ds} 、ドレイン電流 I_d 、増幅器の出力電圧 V_{out} 、出力電流 I_{out} 及びFETaのドレイン損失 $V_{ds} \times I_d$ のシミュレーション波形を時間 t に対して示したものである。このときの負荷は 50Ω （純抵抗）で、増幅器の出力インピーダンスと整合している。また、負荷に供給される高周波出力（進行波電力）は約 $1200W$ であり、FETaで生じる損失（平均値）は $200W$ である。

【0017】

図16は、負荷インピーダンスが電源装置の出力インピーダンスに整合している場合であるが、負荷インピーダンスが整合していない場合には、電源装置（増幅器）から出力させることができる最大高周波出力（進行波電力）が負荷インピーダンスによって大きく変る。

【0018】

表1は、反射係数の大きさが 0.714 （定在波比 $SWR=6:1$ ）で、反射係数の位相角が 0 度、 -45 度、 -90 度、 -135 度、 -180 度、 -225 度、 -270 度及び -315 度となる8種類の負荷を図14に示した増幅器に接続して、FETaのドレイン損失が許容値 $300W$ に等しいときに、増幅器から負荷に供給できる高周波出力（最大高周波出力）の大きさを求めた結果を示したものである。なおこの場合も、直流電源電圧 V_{dc} は $200[V]$ としている。

【0019】

【表1】

Vde [V]	負荷の反射係数		負荷インピーダンス	進行波電力 [W]	反射波電力 [W]	FETaのドレイン損失[W]
	大きさ	位相[度]				
200	0.714	0	300	420	210	210
200	0.714	-45	$49-j101$	480	240	230
200	0.714	-90	$16.2-j47.3$	130	65	300
200	0.714	-135	$9.7-j20$	65	33	300
200	0.714	-180	8.3	45	23	300
200	0.714	-225	$9.7+j20$	52	26	300
200	0.714	-270	$16.2+j47.3$	86	43	300
200	0.714	-315	$49+j101$	240	120	300

表1から明らかなように、反射係数の位相角が 0 度になる負荷を接続したとき、及び反射係数の位相角が -45 度になる負荷を接続したときには、FETaで

生じる最大損失が300W未満であった。これらの負荷では、高周波出力を更に大きくするために入力信号 V_{in} を大きくすると、増幅器がB級動作から外れることが明らかになった。そのため、表1において、位相角が0度及び -45 度の負荷をそれぞれ接続したときのFETaのドレイン損失値210[W]及び230[W]は、B級動作領域での最大損失値を示している。

【0020】

表1から、反射係数の大きさが同じ負荷であっても、負荷インピーダンスの位相角により増幅器から負荷に供給し得る最大高周波出力が大きく異なることが分かる。負荷が 8.3Ω のときに増幅器が出力できる最大高周波出力は、負荷が $49 + j101\Omega$ のときの $1/5$ 以下となる。

【0021】

次に、図17(A)ないし(E)はそれぞれ、インピーダンスが $9.7 - j20\Omega$ の負荷が接続されたときのFETaのドレイン電圧 V_{ds} 、ドレイン電流 I_d 、増幅器の出力電圧 V_{out} 、出力電流 I_{out} 、及びFETaのドレイン損失 $V_{ds} \times I_d$ を示している。このときのFETaの損失(平均値)は約300[W]である。

【0022】

この場合、電源装置の高周波出力を更に大きくするために、入力信号 V_{in} を大きくすると、FETの損失は更に大きくなる。

【0023】

図18は、入力信号 V_{in} を大きくしてFETの損失(平均値)を約500[W]としたときの各部の電圧、電流波形を示している。このとき増幅器が出力する進行波電力は約260[W]である。このように、入力信号 V_{in} を大きくすると、増幅器が出力し得る進行波電力が大きくなるが、FETで生じる損失も大きくなるため、FETの接合部の温度が許容温度を超えて破損する。

【0024】

上記の説明では、一組の増幅器により増幅部を構成するとしたが、図15に示すように、増幅部を複数の増幅器により構成する場合もある。この例では、図示しない直流電源部の出力電圧 V_{dc} を電源電圧として動作する複数の増幅器2a1～

2a4と、図示しない発振部から与えられる高周波信号 V_{in} を増幅器 2a1～2a4に分配して入力するパワー分配器 2bと、増幅器 2a1～2a4の出力を合成して負荷 6に与えるパワー合成器 2cとにより増幅部 2が構成されている。

【0025】

このように、増幅部が複数の増幅器により構成される場合も、負荷インピーダンスの変化によって反射係数の位相角が変化したときに電源装置から負荷に供給される最大出力が大きく変わる。

【0026】

上記のような高周波電源装置において、反射波電力に対して保護設定値を設定して、反射波電力が保護設定値を超えないように増幅部の出力を制御するようにした場合には、反射波電力の保護設定値は、一番厳しい負荷の時の値に制限される。表1に示した例では、負荷インピーダンスが $8.3\ \Omega$ のときの反射波電力 23 [W] を保護設定値とする必要があり、電源装置から出力し得る進行波電力は 45 [W] 以下に制限される。反射波電力の保護設定値は固定値であるため、他の負荷インピーダンスに対しても高周波出力（進行波電力または有効電力）が 45 [W] 以下に制限される。

【0027】

また特許文献3や特許文献4に示されているように、増幅器で発生している損失を求めて、この損失を、増幅器が破損しない範囲の最大値付近の値に定めた損失設定値以下に保つように増幅器の出力を制御するようにした高周波電源装置も知られている。

【0028】

このような制御が行われる高周波電源装置においては、増幅器で生じる損失が損失設定値を超える負荷インピーダンスが接続されたときに、増幅器で生じる損失を損失設定値まで下げるように増幅器の出力を低下させる保護制御が行われるため、電源装置の出力（進行波電力または有効電力）が制限される。

【0029】

【特許文献1】

特公平5-76045号公報

【 0 0 3 0 】**【特許文献 2】**

特開 2 0 0 1 - 2 4 4 7 5 4 号公報

【 0 0 3 1 】**【特許文献 3】**

特開平 1 1 - 2 3 3 2 9 4 号公報

【 0 0 3 . 2 】**【特許文献 4】**

特開 2 0 0 1 - 3 5 6 9 9 号公報

【 0 0 3 3 】**【発明が解決しようとする課題】**

上記のように、従来の高周波電源装置においては、反射波電力により増幅器で発生する損失が増大して、増幅器が破損するおそれが生じたときに、増幅器の出力を低下させることにより、増幅器の保護を図っていたため、増幅器を保護する制御が行われたときに電源出力（進行波電力または有効電力）が設定値よりもかなり低い値に制限されるという問題があった。

【 0 0 3 4 】

本発明の目的は、増幅器で生じる損失が大きくなる負荷が接続されたときに、増幅器を破損することなく、従来よりも大きい高周波出力（進行波電力または有効電力）を負荷に供給することができるようにした高周波電源装置を提供することにある。

【 0 0 3 5 】**【課題を解決するための手段】**

本発明は、高周波信号を出力する発振部と、発振部の出力を増幅して負荷に高周波出力を供給する増幅部と、増幅部に直流電源電圧を供給する直流電源部とを備えた高周波電源装置を対象とする。

【 0 0 3 6 】

本発明においては、増幅部で生じている損失を演算する損失演算部と、損失演算部により演算された損失演算値が予め設定された損失設定値を超えたときに損

失演算値が損失設定値に等しくなるまで直流電源部から増幅部に供給する直流電源電圧を低下させる制御を行い、損失演算値が損失設定値以下のときには直流電源部から増幅部に供給する直流電源電圧を適値に設定された直流電圧設定値に保つ制御を行う第1の制御部と、増幅部から負荷に供給される高周波出力を高周波出力設定値に近づけるように発振部または増幅部の出力を制御する第2の制御部とを設けた。

【0037】

増幅部で生じている損失 P_{loss} は、増幅部から負荷に供給される高周波有効出力電力 P_L を、直流電源部から増幅部に入力される直流電力 P_{dc} ($=$ 増幅部に供給される直流電源電圧 $V_{dc} \times$ 直流電流 I_{dc}) から引算する ($P_{loss} = P_{dc} - P_L$ の演算を行う) ことにより求めるか、または直流電源部から増幅部に供給される直流電力 P_{dc} から、負荷に供給される進行波電力 P_f を引算して得た値に反射波電力 P_r を加える ($P_{loss} = P_{dc} - P_f + P_r$ の演算を行う) ことにより求めることができる。

【0038】

上記損失設定値は、増幅部で生じる発熱が許容範囲の上限に達するときに該増幅部で生じる許容最大損失以下に設定する。

【0039】

第2の制御部が制御する高周波出力は、進行波電力 P_f でもよく、有効電力 (負荷での消費電力) P_L ($= P_f - P_r$) でもよい。

【0040】

上記の電源装置において、増幅部で生じる損失が損失設定値を超えると、第1の制御部が直流電源電圧を低下させるように制御するため、増幅部の出力が低下し、増幅部で生じる損失も減少していく。このとき第2の制御部は、増幅部から負荷に与えられる高周波出力を高周波出力設定値に近づけるように発振部または増幅部を制御して、増幅部の出力を増加させるため、増幅部の出力の低下が抑えられる。第2の制御部が増幅器の出力を増加させると、増幅器で生じる損失が増加しようとするが、第1の制御部がこの損失の増加を抑えて、増幅部で生じる損失を損失設定値に保つ。直流電源電圧を低下させて増幅部で生じる損失を損失設定

値に保つ第1の制御部による制御と、増幅部の出力を増加させる第2の制御部による制御とがバランスしたところで、第1の制御部及び第2の制御部による制御動作が止り、高周波出力が安定する。

【0041】

このように、本発明においては、増幅部で生じる損失が損失設定値を超えたことが検出されたときに、直流電源電圧を低下させて損失を損失設定値まで減少させる制御を行うと同時に、高周波出力を設定値に向けて上昇させる制御を行うので、増幅部で大きな損失が生じる負荷が接続されたときに、該損失を損失設定値（許容損失）に抑えつつ負荷に供給し得る高周波電力（進行波電力または有効電力）を従来よりも大きくすることができる。

【0042】

また増幅部で生じる損失は常に損失設定値に制限されるため、増幅部を構成する半導体素子が破損するのを防ぐことができる。

【0043】

上記の構成では、増幅部で生じる損失が損失設定値を超えたことが検出されたときに、直流電源電圧を低下させて損失を損失設定値まで減少させる制御を行うように第1の制御部を構成しているが、増幅部を構成する半導体素子で生じる損失を演算するように損失演算部を構成して、損失演算部により演算される損失が損失設定値を超えたことが検出されたときに、直流電源電圧を低下させて演算される損失を損失設定値まで減少させる制御を行うように第1の制御部を構成してもよい。

【0044】

このように、増幅部を構成する半導体素子で生じている損失自体を演算して、演算された損失が損失設定値を超えたことが検出されたときに、演算される損失を損失設定値まで減少させる制御を行うと、半導体素子の保護をよりの確に行わせることができる。

【0045】

上記のように、本発明においては、増幅部で生じる損失が損失設定値を超えたときに増幅部の直流電源電圧を低下させる制御を行うが、増幅部を安定に動作さ

せるため、直流電源電圧の許容変動範囲（増幅部の安定な動作を確保する上で許容される変動範囲）の下限值よりも低い値まで直流電源電圧を低下させるのは好ましくない。

【0046】

従って、本発明の好ましい態様では、直流電源電圧を制御する第1の制御部が、損失演算部により演算された損失演算値が予め設定された第1の損失設定値よりも小さいときに直流電源部から増幅部に供給される直流電源電圧を適値に設定された直流電圧設定値に保つ制御を行い、損失演算値が第1の損失設定値を超えているときには損失演算値を第1の損失設定値に等しくするべく、直流電源部の出力電圧を予め定めた下限値を下回らない範囲で低下させる制御を行うように構成される。

【0047】

この場合第2の制御部は、直流電源電圧が前記下限値以上であるときには高周波出力検出部により検出される増幅部の高周波出力を高周波出力設定値に近づけるように発振部または前記増幅部の出力を制御し、直流電源電圧が前記下限値を下回ったときには、損失演算値を第1の損失設定値に等しいかまたは第1の損失設定値よりも僅かに大きい値に設定された第2の損失設定値に等しくするように発振部または増幅部の出力を制御するように構成される。

【0048】

上記第1の損失設定値及び第2の損失設定値は、増幅部を構成する半導体素子で生じる発熱が許容範囲の上限に達するときに該増幅部で生じる損失値以下に設定される。

【0049】

上記のように直流電源電圧に対して下限値を設定して第1の制御部により直流電源電圧が下限値を下回らない範囲で直流電源電圧を低下させる制御を行い、直流電源電圧が下限値を下回ったときに、第2の制御部により、損失演算値を第1の損失設定値に等しいかまたは第1の損失設定値よりも僅かに大きい値に設定された第2の損失設定値に等しくするように発振部または増幅部の出力を制御するように構成すると、直流電源電圧を下限値以下に低下させることなく増幅部で生

じる損失を制限する制御を行わせることができるため、増幅部の安定な動作を保証することができる。

【0050】

このような制御を行う場合にも、増幅部を構成している半導体素子で生じている損失を演算するように損失演算部を構成することができる。この場合も、第1の制御部は、損失演算部により演算された損失演算値が予め設定された第1の損失設定値よりも小さいときに直流電源部から増幅部に供給される直流電源電圧を適値に設定された直流電圧設定値に保つ制御を行い、損失演算値が第1の損失設定値を超えているときには損失演算値を第1の損失設定値に等しくするべく、直流電源部の出力電圧を予め定めた下限値を下回らない範囲で低下させる制御を行う。また第2の制御部は、直流電源電圧が下限値以上であるときには高周波出力検出部により検出される増幅部の高周波出力を高周波出力設定値に近づけるように発振部または増幅部の出力を制御し、直流電源電圧が下限値を下回ったときには、損失演算値を第1の損失設定値に等しいかまたは第1の損失設定値よりも僅かに大きい値に設定された第2の損失設定値に等しくするように発振部または増幅部の出力を制御する。

【0051】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。

【0052】

図1は本発明に係わる高周波電源装置の構成例を示したもので、同図において11は所定の周波数の高周波信号を発生する発振部、12は発振部11の出力を増幅する増幅部、13は増幅部12に直流電源電圧を与える直流電源部、14は増幅部12の高周波出力を検出する高周波出力検出部であり、増幅部12の出力が高周波出力検出部14を通して負荷16に供給されている。

【0053】

また17は直流電源部13から増幅部12に与えられる直流電源電圧 V_{dc} を検出する直流出力検出部、18は増幅部で生じている損失を演算する損失演算部で、直流出力検出部17の出力が高周波出力検出部14の出力とともに損失演算部

18に与えられている。

【0054】

19は、損失演算部18により演算される損失に応じて直流電源部13を制御する第1の制御部、20は増幅部12から負荷16に供給される高周波出力を高周波出力設定値に近づけるように発振部11または増幅部12を制御する第2の制御部である。

【0055】

発振部11は、発振器と必要に応じて発振器の出力を増幅する増幅器とにより構成され、増幅部12は電力増幅器により構成される。増幅部12は、図13に示した例と同じように単一の増幅器からなっているとしてもよく、図15に示したように複数の増幅器からなっているともよい。増幅器としては、図14に示した構成を有するものを用いることができる。

【0056】

なお増幅器の回路構成は図14に示したものに限られるものではなく、発振部11の出力を増幅し得る周波数特性を有する電力増幅回路であればいかなるものでもよい。

【0057】

高周波出力検出部14は、増幅部12の出力情報を検出する部分である。出力情報を検出する方法としては、増幅部12の出力電圧 V_{out} [V]と出力電流 I_{out} [A]とから進行波電力 P_f と、反射波電力 P_r [W]とを求める方法と、出力電圧 V_{out} [V]、出力電流 I_{out} [A]及びこれらの位相差 θ から、負荷16に与えられる高周波有効出力電力（負荷で消費された電力） $PL = V_{out} \times I_{out} \times \cos \theta$ [W]を求める方法とがある。

【0058】

なお高周波有効出力電力 PL と進行波電力 P_f と反射波電力 P_r との間には、 $PL = P_f - P_r$ [W]の関係がある。

【0059】

直流出力検出部17は、直流電源部13の出力電圧 V_{dc} [V]と出力電流 I_{dc} [A]とを検出し、これらを用いて直流出力検出部17から増幅部12に与え

られる直流電力 $P_{dc} = V_{dc} \times I_{dc}$ [W] を求める。

【0060】

損失演算部 18 は、直流検出部 17 で求められた直流電源部 13 の直流出力電力 P_{dc} から高周波出力検出部 14 で求められた高周波有効出力電力 P_L を減じて、増幅部 12 で生じた損失 $P_{loss} (= P_{dc} - P_L)$ [W] を演算する。

【0061】

なお損失演算部 18 は、直流電源部 13 から増幅部 12 に与えられた直流電力 P_{dc} から進行波電力 P_f を差し引いたものに反射波電力 P_r を加えることにより増幅部で生じた損失 $P_{loss} (= P_{dc} - P_f + P_r)$ を求めるように構成してもよい。

【0062】

第 1 の制御部 19 は、損失演算部 18 により演算された損失演算値 P_{loss} と、直流出力検出部 17 により検出された直流電源電圧 V_{dc} と、直流電圧設定値 V_{dcset} と損失設定値 P_{lset} とを入力として、損失演算部 18 により演算された損失演算値 P_{loss} が予め設定された損失設定値 P_{lset} を超えたときに損失演算値 P_{loss} が損失設定値 P_{lset} に等しくなるまで直流電源部 13 から増幅部 12 に供給する直流電源電圧 V_{dc} を低下させる制御を行い、損失演算値 P_{loss} が損失設定値 P_{lset} 以下のときには直流電源部 13 から増幅部 12 に供給する直流電源電圧 V_{dc} を適値に設定された直流電圧設定値 V_{dcset} に保つ制御を行うように構成される。

【0063】

また第 2 の制御部 20 は、高周波出力検出部 14 により検出された高周波出力 P_f と、高周波出力設定値 P_{fset} とを入力として、増幅部 12 から負荷 16 に供給される高周波出力を高周波出力設定値 P_{fset} に近づけるように発振部 11 または増幅部 12 の出力を制御するように構成される。

【0064】

なお直流電源電圧 V_{dc} に対して設定する直流電圧設定値 V_{dcset} は、固定値でも可変値でもよいが、増幅部 12 を効率よく動作させるのに適した値に設定される。増幅部 12 を効率よく動作させるのに適した直流電源電圧 V_{dc} は、電源装置

の出力 P_{out} の設定値（高周波出力設定値） P_{fset} の大きさにより異なるので、高周波出力設定値 P_{fset} の大きさに応じて増幅部 12 の効率 η ($= P_{out} / P_{dc}$) を最大にするように、設定値 P_{fset} に応じた直流電圧設定値 V_{dcset} を変化させるようにするのが好ましい。このように、出力設定値に応じた増幅部の直流電源電圧を制御する方法は、特開 2001-197749 号に示されているように既に公知である。

【0065】

図 1 に示した電源装置において、増幅部で生じる損失が損失設定値 P_{lset} を超えると、第 1 の制御部 19 が直流電源 13 から増幅部 12 に与えられる直流電源電圧 V_{dc} を低下させるように制御するため、増幅部 12 の出力が低下し、増幅部 12 で生じる損失も減少していく。このとき第 2 の制御部 20 は、増幅部 12 から負荷 16 に与えられる高周波出力（進行波電力または有効電力）を高周波出力設定値（進行波電力の設定値または有効電力の設定値）に近づけるように発振部 11 または増幅部 12 を制御して、増幅部 12 の出力を増加させるため、増幅部 12 の出力の低下が抑えられる。第 2 の制御部が増幅部の出力を増加させると、増幅部で生じる損失が増加しようとするが、第 1 の制御部がこの損失の増加を抑えて、増幅部で生じる損失を損失設定値 P_{lset} に保つ。

【0066】

直流電源電圧 V_{dc} を低下させて増幅部で生じる損失を損失設定値 P_{lset} に保つ第 1 の制御部 19 による制御と、増幅部の出力を増加させる第 2 の制御部 20 による制御とがバランスしたところで、第 1 の制御部及び第 2 の制御部による制御動作が止り、高周波出力が安定する。

【0067】

このように、本発明においては、増幅部 12 で生じる損失 P_{loss} が損失設定値 P_{lset} を超えたことが検出されたときに、直流電源電圧を低下させて損失を損失設定値まで減少させる制御を行うと同時に、高周波出力を設定値に向けて上昇させる制御を行うので、増幅部で大きな損失が生じる負荷が接続されたときに、該損失を損失設定値（許容損失）に抑えつつ負荷に供給し得る高周波電力（進行波電力または有効電力）を従来よりも大きくすることができる。

【0068】

また増幅部 12 で生じる損失は常に損失設定値 P_{lset} に制限されるため、増幅部を構成する半導体素子が破損するのを防ぐことができる。

【0069】

ここで、図 1 に示した電源装置において、図 14 に示す一組の増幅器 2a を用いて増幅部 12 を構成した場合について行ったシミュレーションの結果を示す。制御の対象とする高周波出力は進行波電力でも有効電力（負荷で消費される電力）でもよいが、ここでは、進行波電力を制御の対象とする高周波出力として、該高周波出力を高周波出力設定値に等しくするように制御するものとする。

【0070】

図 14 に示した増幅回路において、FETa 及び FETb の損失設定値（許容損失） P_{lset} を 300 [W] とした場合に、表 1 に示した例と同じ負荷に供給できる最大高周波出力（最大進行波電力）の大きさを求めた結果を下記の表 2 に示す。

【0071】

【表 2】

Vde [V]	負荷の反射係数		負荷インピーダンス	進行波電力 [W]	反射波電力 [W]	FETa のドレイン損失[W]
	大きさ	位相[度]				
200	0.714	0	300	420	210	210
200	0.714	-45	49-j101	480	240	230
150	0.714	-90	16.2-j47.3	330	165	300
110	0.714	-135	9.7-j20	550	275	300
100	0.714	-180	8.3	410	205	300
110	0.714	-225	9.7+j20	360	180	300
150	0.714	-270	16.2+j47.3	234	117	300
180	0.714	-315	49+j101	360	180	300

従来の電源装置では、表 1 に示したように、負荷インピーダンスが $16.2 - j47.3 \Omega$ 、 $9.7 - j20 \Omega$ 、 8.3Ω 、 $9.7 + j20 \Omega$ 、 $16.2 + j47.3 \Omega$ 、 $49 + j101 \Omega$ のときにそれぞれ 130 [W]、65 [W]、45 [W]、52 [W]、86 [W] 及び 240 [W] の高周波出力電力（この例では進行波電力）しか得ることができなかったが、本発明によれば、表 2 に示したように、330 [W]、550 [W]、410 [W]、360 [W]、234 [W] 及び 360 [W] の高周波出力を得ることができ、高周波出力を従来より

も大幅に増加させることができる。

【0072】

図2 (A) ないし (E) は、 $9.7 - j20\ \Omega$ の負荷を接続したときの FET a のドレイン電圧 V_{ds} 、ドレイン電流 I_d 、増幅部の高周波出力電圧 V_{out} 、高周波出力電流 I_{out} 及び損失 $V_{ds} \times I_d$ のシミュレーション波形を時間 t に対して示したものである。図2 (E) に示したように、FET a の損失は約 300 [W] (平均値) に保たれている。

【0073】

上記のように、本発明においては、増幅部 12 で生じる損失が損失設定値 P_{lset} を超えたことが検出されたときに、直流電源電圧を低下させて増幅部で生じる損失を損失設定値まで減少させる制御を行うと同時に、高周波出力 P_f を設定値 P_{fset} に向けて上昇させる制御を行うので、増幅部 12 で大きな損失が生じる負荷 16 が接続されたときに、増幅部で生じる損失を損失設定値 (許容損失) に抑えつつ負荷 16 に供給し得る高周波電力 (進行波電力または有効電力) を従来よりも大きくすることができる。また増幅部 12 で生じる損失は常に損失設定値 P_{lset} に制限されるため、増幅部 12 を構成する半導体素子が破損するのを防ぐことができる。

【0074】

上記のように、本発明においては、増幅部 12 で生じる損失が損失設定値 P_{lset} を超えたときに増幅部の直流電源電圧 V_{dc} を低下させる制御を行うが、増幅部を安定に動作させるため、直流電源電圧の許容変動範囲 (増幅部の安定な動作を確保する上で許容される変動範囲) の下限値よりも低い値まで直流電源電圧を低下させることは避ける必要がある。

【0075】

図3 は、直流電源電圧が下限値 V_{dcL} よりも低くなるのを防ぐようにする場合の本発明の実施形態を示したものである。図3 に示した実施形態では、第1の制御部 19' に、損失演算部 18 の出力及び直流出力検出部 17 の出力とともに、直流電圧設定値 V_{dcset} と第1の損失設定値 P_{lset1} と直流電源電圧の下限値 V_{dcL} とが入力され、第2の制御部 20' には、高周波出力検出部 14 の出力と、

高周波出力設定値 P_{fset} と、第 2 の損失設定値 P_{lset2} と、損失演算部 18 により演算された損失演算値 P_{loss} とが入力されるとともに、直流電源部 13 の出力電圧が下限値 V_{dcL} 以上であるのか、下限値 V_{dcL} 未満であるのかを示す信号が第 1 の制御部 19' から与えられる。

【0076】

図 3 に示した第 1 の制御部 19' は、損失演算部により演算された損失演算値が予め設定された第 1 の損失設定値 P_{lset1} よりも小さいときに直流電源部 13 から増幅部 12 に供給される直流電源電圧 V_{dc} を適値に設定された直流電圧設定値 V_{dcset} に保つ制御を行い、損失演算値 P_{loss} が第 1 の損失設定値 P_{lset1} を超えているときには損失演算値 P_{loss} を第 1 の損失設定値 P_{lset1} に等しくするべく、直流電源部 13 の出力電圧を予め定めた下限値 V_{dcL} を下回らない範囲で低下させる制御を行うように構成される。

【0077】

また第 2 の制御部 20' は、直流電源電圧 V_{dc} が下限値 V_{dcL} 以上であるときには高周波出力検出部 14 により検出される増幅部 12 の高周波出力を高周波出力設定値 P_{fset} に近づけるように発振部 11 または増幅部 12 の出力を制御し、直流電源電圧 V_{dc} が下限値 V_{dcL} を下回ったときには、損失演算値 P_{loss} を第 1 の損失設定値 P_{lset1} に等しいかまたは第 1 の損失設定値 P_{lset1} よりも僅かに大きい値に設定された第 2 の損失設定値 P_{lset2} に等しくするように発振部 11 または増幅部 12 の出力を制御するように構成される。

【0078】

第 1 の損失設定値 P_{lset1} 及び第 2 の損失設定値 P_{lset2} ($\geq P_{lset1}$) は、増幅部を構成する半導体素子で生じる発熱が許容範囲の上限に達するときに増幅部 12 で生じる損失値以下に設定される。その他の点は図 1 に示した実施形態と同様である。

【0079】

図 3 に示した実施形態において、損失演算値 P_{loss} が第 1 の損失設定値 P_{lset1} を超えていないときには、第 1 の制御部 19' が、直流電源部の出力電圧 V_{dc} を適値に設定された直流電圧設定値 V_{dcset} に保つように制御する。また損失演

算部 18 により演算された損失 P_{loss} が第 1 の損失設定値 P_{lset1} を超えたときには、第 1 の制御部 19' が下限値 V_{dcL} を下まわらない範囲で直流電源部 13 の出力電圧を低下させるように制御して増幅部 12 の出力を低下させ、損失演算値（増幅部で生じる損失） P_{loss} を減少させる。

【0080】

第 2 の制御部 20' は、直流電源部の出力電圧（直流電源電圧） V_{dc} が下限値 V_{dcL} 以上あるときに、高周波出力検出部 14 により検出される増幅部 12 の高周波出力 P_f を高周波出力設定値 P_{fset} に近づけるように発振部 11 または増幅部 12 の出力を制御し、直流電源電圧が下限値 V_{dcL} を下回ったときに、損失演算値 P_{loss} を第 2 の損失設定値 P_{lset2} に等しくするように発振部 11 または増幅部 12 の出力を制御する。

【0081】

上記のように、図 3 に示した実施形態では、増幅部で生じる損失が第 1 の損失設定値を超えたときに、第 1 の制御部 19' が直流電源部の出力電圧を下限値を下まわらない範囲で低下させて増幅部の出力を低下させるように制御するので、増幅部で生じる損失が損失設定値を超えたときに増幅部の安定な動作を損なうことなく、増幅部で生じる損失を損失設定値に抑制する制御を行わせることができる。

【0082】

また直流電源電圧が下限値以上であるときには、第 2 の制御部 20' が高周波出力を設定値に近づけるように制御するため、増幅部で大きな損失が生じる負荷が接続されたときに、該損失を損失設定値に抑えつつ負荷に供給し得る高周波電力（進行波電力または有効電力）を従来よりも大きくすることができる。

【0083】

更に、直流電源電圧が下限値を下回ろうとしたときには、第 2 の制御部が損失演算値 P_{loss} を、第 1 の損失設定値に等しいか、または該第 1 の損失設定値よりも僅かに大きく設定された第 2 の損失設定値 P_{lset2} に等しくするように発振部 11 または増幅部 12 の出力を制御して、第 1 の制御部による直流電源電圧の制御（直流電源電圧を低下させる制御）を停止させるため、直流電源部の出力が下

限値を下回って、増幅部の動作が不安定になるのを防ぐことができる。

【0084】

図1及び図3に示した実施形態において、発振部11は、所定の周波数の高周波出力を発生する公知の回路により構成することができ、直流電源部13は、出力電圧値を制御する機能を有する各種の直流電源回路により構成することができる。また損失演算部18は、アナログ演算回路またはコンピュータにより実現することができる。

【0085】

第1の制御部及び第2の制御部は、ハードウェア回路により構成することもでき、コンピュータに所定のプログラムを実行させることによりソフトウェア的に構成することもできる。

【0086】

以下、図3に示した実施形態を例にとって、直流電源部13の具体的な構成例と、第1の制御部19'及び第2の制御部20'の具体的な構成例を説明する。

【0087】

図4ないし図6は、本発明に係わる高周波電源装置で用いることができる直流電源部13の具体的な構成例を示したもので、これらの図に示された直流電源部13は、商用電源から得られる交流電圧 V_{ac} を直流電圧に変換する整流回路と、この整流回路の出力を交流電圧に変換するインバータ回路と、このインバータ回路の交流出力を直流出力に変換するコンバータ回路とにより構成されている。

【0088】

図4は、プッシュプル方式のインバータ回路を用いた直流電源部13を示したもので、この直流電源部13は、ダイオード D_a ないし D_d のブリッジ回路からなる全波整流回路21と、チョークコイル L_1 と平滑用コンデンサ C_1 とからなる平滑回路22と、NPNトランジスタ TR_1 及び TR_2 とトランス T_1 とからなるプッシュプル方式のインバータ回路23と、整流回路21から与えられる直流電圧を交流電圧に変換するようにトランジスタ TR_1 及び TR_2 をオンオフ制御するインバータ制御部24と、ダイオード D_e 及び D_f とチョークコイル L_2 と平滑用コンデンサ C_2 とからなっていて、インバータ回路23から得られる交

流出力を直流出力に変換するコンバータ回路 25 とにより構成されている。

【0089】

図 4 に示した直流電源部において、インバータ制御部 24 は、第 1 の制御部 19' から与えられる制御信号 VCT1 に応じて、トランジスタ TR1 及び TR2 を PWM 制御または PFM 制御し、PWM 制御または PFM 制御された交流電圧をトランス T1 から出力する。この交流電圧は、ダイオード De 及び Df により整流され、チョークコイル L2 及びコンデンサ C2 により平滑されて直流電圧 Vdc として増幅部 12 に与えられる。第 1 の制御部 19' は、直流出力検出部 17 により検出される直流電圧 Vdc の大きさを指示値 Vdcc に等しくするように、上記制御信号 VCT1 を発生するため、直流電源部 13 から出力される直流電圧 Vdc が指示値 Vdcc に等しくなるように制御される。

【0090】

図 5 は、ブリッジ方式のインバータ回路を用いた直流電源部 13 を示したもので、この直流電源部 13 は、図 4 に示された直流電源部で用いられているものと同様の整流回路 21 及び平滑回路 22 と、トランジスタ TRu, TRv, TRx 及び TRy とこれらのトランジスタのコレクタエミッタ間に接続された帰還用ダイオード Du, Dv, Dx 及び Dy とトランス T1 とからなる公知のブリッジ形インバータ回路 27 と、インバータ回路 27 を制御するインバータ制御部 24 とにより、図 4 に示された直流電源部で用いられたものと同様のコンバータ回路 25 とにより構成されている。

【0091】

図 5 に示された直流電源部 13 においては、インバータ制御部 24 がインバータ回路 27 のブリッジの対角位置にあるトランジスタを交互にオン状態にすることにより整流回路 21 から与えられる直流電圧を交流電圧に変換する。インバータ制御部 24 はまた、インバータ回路 27 のブリッジの上辺を構成するトランジスタまたはブリッジの下辺を構成するトランジスタのうち、オン期間にあるトランジスタを第 1 の制御部 19' から与えられる制御信号 VCT1 に応じて、PWM 制御または PMF 制御し、PWM 制御または PFM 制御された交流電圧をトランス T1 から出力する。この交流電圧は、ダイオード De 及び Df により整流さ

れ、チョークコイル $L2$ 及びコンデンサ $C2$ により平滑されて直流電圧 V_{dc} として増幅部 12 に与えられる。第 1 の制御部 19' は、直流出力検出部 17 により検出される直流電圧 V_{dc} の大きさを指示値 V_{dcc} に等しくするように、制御信号 V_{CT1} を発生するため、直流電源部 13 から出力される直流電圧 V_{dc} が指示値 V_{dcc} に等しくなるように制御される。

【0092】

また図 6 は、ハーフブリッジ方式のインバータ回路を用いた直流電源部 13 を示したもので、この直流電源部 13 は、図 5 に示された直流電源部で用いられた平滑回路 22 に代えて、チョークコイル $L1$ とコンデンサ $C11$ 及び $C12$ からなる平滑回路 22' が用いられている点、及びトランジスタ TR_u 及び TR_x と帰還ダイオード D_u 及び D_x とトランス $T1$ とからなるハーフブリッジ式のインバータ回路 28 が用いられている点を除き、図 5 に示された直流電源部と同様に構成されている。

【0093】

図 6 に示された直流電源部において、インバータ制御部 24 は、第 1 の制御部 19' から与えられる制御信号 V_{CT1} に応じてトランジスタを PWM 制御または PFM 制御し、PWM 制御または PFM 制御された交流電圧をトランス $T1$ から出力する。この交流電圧は、ダイオード D_e 及び D_f により整流され、チョークコイル $L2$ 及びコンデンサ $C2$ により平滑されて直流電圧 V_{dc} として増幅部 12 に与えられる。第 1 の制御部 19' は、直流出力検出部 17 により検出される直流電圧 V_{dc} の大きさを指示値 V_{dcc} に等しくするように、上記制御信号 V_{CT1} を発生させるため、直流電源部 13 から出力される直流電圧 V_{dc} が指示値 V_{dcc} に等しくなるように制御される。

【0094】

図 4 ないし図 6 に示した例では、商用電源から与えられる単相交流電圧 V_{ac} を直流電圧 V_{dc} に変換するようにしているが、図 4 ないし図 6 に示された整流回路 21 を図 7 に示した 3 相全波整流回路 21' で置き換えることにより、3 相交流電圧 V_{ac} を直流電圧 V_{dc} に変換するように直流電源部 13 を構成することもできる。

【0095】

なお図4ないし図6に示した例においては、インバータ回路を構成するスイッチ素子としてNPNトランジスタを用いたが、他の電力用半導体素子、例えば、FETやIGBT等をスイッチ素子として用いて、インバータ回路を構成するようにしてもよい。

【0096】

図8は第1の制御部19'をハードウェア回路により構成した例を示している。図8においては、図3に示した直流電圧Vdcの検出信号、直流電圧設定値Vdcset、第1の損失設定値Plset1、損失演算値Ploss等がすべて電圧信号の形で第1の制御部19'に入力される。図8においては、直流電圧Vdc、直流電圧設定値Vdcset、損失演算値Ploss等を与える電圧信号をそれぞれの符号の前にSをつけることにより表している。

【0097】

即ち、図8において、SVdcは、直流出力検出部17が出力する直流電圧検出信号で、直流電源部13が出力する直流電圧Vdcに比例している電圧信号である。またSVdcLは直流電圧Vdcの下限值を与える下限電圧値設定信号、SVdcsetは直流電圧Vdcの設定値を与える直流電圧設定信号、SPlset1は第1の損失設定値Plset1を与える第1の損失設定信号（電圧信号）、SPlossは損失演算部18が演算した損失演算値を与える損失演算値信号である。

【0098】

図8に示した例では、演算増幅器IC1と抵抗R1ないしR3により、損失演算値信号SPlossの極性をプラスからマイナスに反転する極性反転回路30が構成され、演算増幅器IC2と、抵抗R4ないしR7と、ダイオードD1及びD2とにより、第1の損失設定信号SPlset1と極性が反転された損失演算値信号SPlossとを入力として、損失演算値信号SPlossの大きさが第1の損失設定信号SPlset1の大きさに等しくなるように制御信号を出力する第1の誤差増幅回路31が構成されている。この第1の誤差増幅回路31の出力信号は、損失演算値信号SPlossの大きさが第1の損失設定信号SPlset1の大きさ以下のときに0Vとなり、損失演算値信号SPlossの大きさが第1の損失設定信号SPlset1の

大きさを越えたときにプラスの電圧値を示す。

【0099】

また演算増幅器 IC3 と、抵抗 R8 ないし R11 とにより、直流電圧設定信号 SVdcset と誤差増幅回路 31 の出力とを入力として、直流電圧設定信号 SVdcset から誤差増幅回路 31 の出力電圧を減算した電圧を、増幅部で生じる損失を第 1 の損失設定値以下に制限するために必要な直流出力電圧の目標値を与える目標直流電圧信号 SVdco として出力する減算回路 32 が構成されている。

【0100】

更に、演算増幅器 IC4 と、抵抗 R12 と、ダイオード D3 とにより、減算回路 32 から出力される目標直流電圧信号 SVdco が直流電圧 Vdc の下限値を与える下限電圧値設定信号 SVdcL 以上であるときに減算回路 32 から出力される目標直流電圧信号 SVdco に等しい電圧信号を、直流電源部 13 から出力させる直流電圧の指示値 Vdcc を示す直流電圧指示値信号 SVdcc として出力し、減算回路 32 から出力される目標直流電圧信号 SVdco が下限電圧値設定信号 SVdcL よりも小さいときには下限電圧値設定信号 SVdcL を、直流電源部 13 から出力させる直流電圧の指示値 Vdcc を示す直流電圧指示値信号 SVdcc として出力する直流電圧指示値信号出力回路 33 が構成されている。

【0101】

また演算増幅器 IC5 と抵抗 R13 ないし R15 とにより、直流電圧検出信号 SVdc の極性をプラスからマイナスに反転させる極性反転回路 34 が構成され、演算増幅器 IC6 と抵抗 R16 ないし R19 とにより、直流電圧指示値信号 SVdcc と、極性反転回路 34 の出力とを入力として、直流電圧検出信号 SVdc の大きさが直流電圧指示値信号 SVdcc の大きさに等しくなるように制御信号 VCT1 を出力する第 2 の誤差増幅回路 35 が構成されている。

【0102】

直流電源部 13 のインバータ制御部 24 は、上記制御信号 VCT1 を入力として、PWM 制御または PFM 制御により、インバータ回路のトランジスタをオンオフさせて、直流電源部 13 の出力電圧の値を直流電圧指示信号 SVdcc により与えられる直流電圧の指示値に一致させる。

【0103】

また図8において、IC7及びIC8はコンパレータ（電圧比較器）で、これらのコンパレータと抵抗R20及びR21とにより、下限電圧値設定信号SV_{dcL}と減算回路32から与えられる目標直流電圧信号SV_{dco}とを比較して、これらの信号の大小関係に応じてコンパレータIC7及びIC8からレベルが異なる第1の制御信号VSW1及び第2の制御信号VSW2を出力する比較回路36が構成されている。

【0104】

比較回路36は、目標直流電圧信号SV_{dco}が下限電圧値設定信号SV_{dcL}以上あるとき（増幅部で生じる損失を第1の損失設定値以下に制限するために必要な直流電源部の出力電圧の目標値が直流電源部の下限値以上であるとき）に第1の制御信号VSW1及び第2の制御信号VSW2をそれぞれ高レベル及び零レベルにし、目標直流電圧信号SV_{dco}が下限電圧設定信号SV_{dcL}よりも低いとき（増幅部で生じる損失を第1の損失設定値以下に制限するために必要な直流電源部の出力電圧の目標値が直流電源部の下限値よりも小さいとき）に、第1の制御信号VSW1及び第2の制御信号VSW2をそれぞれ零レベル及び高レベルにする。これらの制御信号は第2の制御部20'に与えられる。第1の制御信号VSW1及び第2の制御信号VSW2は、直流電源電圧が下限値以上であるか、或いは下限値を下回ろうとしているかの情報を第2の制御部20'に与えるために用いられる。

【0105】

図9は第2の制御部20'の構成例を示している。図9において、SP_fは高周波出力検出部14から得られる高周波出力検出信号、SP_{fset}は高周波出力P_fの設定値を与える高周波出力設定信号、SP_{lset2}は、第2の損失設定値P_{lset2}を与える第2の損失設定信号、SP_{loss}は損失演算部18により演算された損失演算値を示す損失演算値信号である。

【0106】

図9に示した第2の制御部においては、演算増幅器IC101と抵抗R101ないしR103とにより、損失演算値信号SP_{loss}の極性をプラスからマイナスに変換す

る極性反転回路 41 が構成され、演算増幅器 IC102 と抵抗 R104 ないし R107 と、ダイオード D101 及び D102 とにより、極性反転回路 41 の出力と、第 2 の損失設定信号 SP1set2 とを入力として、損失演算値信号 SPloss の大きさが第 2 の損失設定信号 SP1set2 の大きさに等しくなるように制御信号を出力する誤差増幅回路 42 が構成されている。

【0107】

誤差増幅回路 42 の出力は、損失演算値信号 SPloss の大きさが第 2 の損失設定信号 SP1set2 の大きさよりも小さいときに 0V となり、損失演算値信号 SPloss の大きさが第 2 の損失設定信号 SP1set2 の大きさを超えたときにプラスの電圧値を示す。

【0108】

IC107 及び IC108 はそれぞれ第 1 及び第 2 のアナログスイッチで、これらのアナログスイッチはそれぞれの制御端子に高レベルの制御信号が与えられたときにオン状態になる。

【0109】

即ち、目標直流電圧信号 SVdco が下限電圧設定信号 SVdcL よりも低いために（増幅部で生じる損失を第 1 の損失設定値以下に制限するために必要な直流電源部の出力電圧の目標値が直流電源部の下限値よりも小さいために）、第 1 の制御部 19' から与えられる第 1 の制御信号 VSW1 及び第 2 の制御信号 VSW2 がそれぞれ零レベル及び高レベルであるときに、第 1 のアナログスイッチ 107 がオン状態になり、第 2 のアナログスイッチ IC108 がオフ状態になる。

【0110】

また目標直流電圧信号 SVdco が下限電圧設定信号 SVdcL 以上であるために（増幅部で生じる損失を第 1 の損失設定値以下に制限するために必要な直流電源部の出力電圧の目標値が直流電源部の下限値以上であるために）、第 1 の制御部 19' から与えられる第 1 の制御信号 VSW1 及び第 2 の制御信号 VSW2 がそれぞれ高レベル及び零レベルであるときに、第 1 のアナログスイッチ 107 がオフ状態になり、第 2 のアナログスイッチ IC108 がオン状態になる。

【0111】

また図9に示した第2の制御部においては、演算増幅器IC103と抵抗R108ないしR111とにより、増幅部12から出力する高周波出力（進行波電力）の設定信号SPfsetとアナログスイッチIC107またはIC108の出力とを入力として、高周波出力設定信号SPfsetからアナログスイッチIC107またはIC108の出力信号を減算した信号を、目標高周波出力信号SPfoとして出力する目標高周波出力信号発生回路43が構成されている。

【0112】

損失演算値信号SPloss（増幅部で生じている損失）の大きさが第2の損失設定信号SPlset2の大きさ以下であるときには、目標直流電圧信号SVdcoが下限電圧設定信号SVdcL以上になっていて、第1の制御部19'から与えられる第1の制御信号VSW1及び第2の制御信号VSW2がそれぞれ高レベル及び零レベルになっているため、アナログスイッチIC108がオン状態になり、IC107がオフ状態になる。このとき目標高周波出力信号発生回路43は、高周波出力設定信号SPfsetに等しい電圧信号を目標高周波出力信号SPfoとして出力する。

【0113】

これに対し、損失演算値信号SPlossの大きさが第2の損失設定信号SPlset2の大きさよりも大きいときには、目標直流電圧信号SVdcoが下限電圧設定信号SVdcLよりも低くなり、第1の制御部19'から与えられる第1の制御信号VSW1及び第2の制御信号VSW2がそれぞれ零レベル及び高レベルになるため、第1のアナログスイッチ107がオン状態になり、第2のアナログスイッチIC108がオフ状態になる。このとき目標高周波出力信号発生回路43は、高周波出力設定信号SPfsetから誤差増幅回路42の出力を減算した信号を目標高周波出力信号SPfoとして出力する。

【0114】

また演算増幅器IC104と、抵抗R112ないしR114とにより、高周波出力検出部14から得られる高周波出力検出信号SPfの極性をプラスからマイナスに反転する極性反転回路44が構成され、演算増幅器IC105及びIC106と、抵抗R115ないし抵抗R121とにより、目標高周波出力信号発生回路43の出力と極性反

転回路 44 の出力とを入力として、高周波出力検出信号 S_{Pf} の大きさが目標高周波出力信号 S_{Pfo} の大きさに等しくなるように制御信号 V_{CT2} を出力する誤差増幅回路 45 が構成されている。制御信号 V_{CT2} の値は、目標高周波出力信号 S_{Pfo} と高周波出力検出信号 S_{Pf} との偏差を零にするために増幅部 12 のアンプに入力する信号の大きさに乗じる係数に相当する値を有するもので、上記制御信号 V_{CT2} を発振部 11 の出力に乗じるか、または増幅部 12 内のアンプの入力信号に乗じることにより、目標高周波出力信号 S_{Pfo} と高周波出力検出信号 S_{Pf} との偏差を零にするように増幅部 12 の出力を制御することができるようになっている。

【0115】

上記のように第 2 の制御部 20' が構成される場合、図 3 に示された増幅部 12 は、例えば図 10 に示すように、出力制御部 12A と、ドライバアンプ 12B と、パワーアンプ 12C とにより構成され、第 2 の制御部 20' の誤差増幅回路 45 から得られる制御信号 V_{CT2} が、発振部 11 の出力 V_{osc} とともに出力制御部 12A に入力される。

【0116】

出力制御部 12A は、乗算器、ダブルバランスドミキサまたはデュアルゲート FET を使用したミキサ回路等からなっていて、発振部 11 が出力する特定の周波数の信号 V_{osc} と制御信号 V_{CT2} とを掛け合わせることで、目標高周波出力信号 S_{Pfo} と高周波出力検出信号 S_{Pf} との偏差を零にするようにドライバアンプ 12B に入力する信号の大きさを調整する。このように制御信号により大きさが調整された信号がドライバアンプ 12B により増幅され、ドライバアンプ 12B の出力がパワーアンプ 12C により電力増幅されて、目標高周波出力信号 S_{Pfo} により与えられる目標値に等しい高周波出力として負荷 16 に供給される。

【0117】

第 1 の制御部 19' 及び第 2 の制御部 20' をそれぞれ図 8 及び図 9 に示すように構成した場合の動作は次の通りである。

【0118】

図 3 に示した損失演算部 18 が演算した損失演算値 P_{loss} が第 1 の損失設定値 P_{lset1} 以下であるときには、図 8 の第 1 の誤差増幅回路 31 の出力信号が 0 V であるため、減算回路 32 は、直流電圧設定信号 S_{Vdcset} に等しい大きさの電圧信号を目標直流電圧信号 S_{Vdco} として出力する。このとき目標直流電圧信号 S_{Vdco} の大きさが直流電圧 V_{dc} の下限電圧値設定信号 S_{VdcL} 以上であるとする、直流電圧指示値信号出力回路 33 は、直流電圧設定信号 S_{Vdcset} に等しい電圧信号を直流電圧指示値信号 S_{Vdcc} として出力し、誤差増幅回路 35 は、直流電圧検出信号 S_{Vdc} の大きさが直流電圧設定信号 S_{Vdcset} の大きさに等しくなるように制御信号 V_{CT1} を出力する。直流電源部のインバータ制御部 24 は、この制御信号の大きさに応じて、コンバータ回路 25 に与える交流電圧の平均値を調整するため、直流電源部 13 の出力電圧は、直流電圧設定信号 S_{Vdcset} により設定された電圧に保持される。

【0119】

また損失演算部 18 が演算した損失演算値 P_{loss} が第 1 の損失設定値 P_{lset1} を超えたときには、図 8 の第 1 の誤差増幅回路 31 が、損失演算値信号 $S_{P_{loss}}$ の大きさを第 1 の損失設定信号 $S_{P_{lset1}}$ の大きさに等しくするように制御信号を出力する。減算回路 32 は、直流電圧設定信号 S_{Vdcset} から誤差増幅回路 31 が出力する制御信号を減算して得た電圧信号を、直流出力電圧の目標値を与える目標直流電圧信号 S_{Vdco} として出力する。このとき目標直流電圧信号 S_{Vdco} の大きさが直流電圧 V_{dc} の下限電圧値設定信号 S_{VdcL} 以上であるとする、直流電圧指示値信号出力回路 33 は、目標直流電圧信号 S_{Vdco} に等しい電圧信号を直流電圧指示値信号 S_{Vdcc} として出力し、誤差増幅回路 35 は、直流電圧検出信号 S_{Vdc} の大きさを目標直流電圧信号 S_{Vdco} の大きさに等しくするように制御信号 V_{CT1} を出力する。直流電源部のインバータ制御部 24 は、この制御信号の大きさに応じて、コンバータ回路 25 に与える交流電圧の平均値を調整するため、直流電源部 13 の出力電圧は、直流電圧設定信号 S_{Vdcset} により設定された電圧よりも、誤差増幅回路 31 の出力に相当する電圧分だけ低い値に調整される。

【0120】

このようにして損失演算部により演算された損失値の増大に伴って、直流電源部の出力電圧を低下させる制御を行った結果、直流電源部の出力電圧が下限値を下回ったときには、直流電圧指示値信号出力回路 33 が、下限電圧値設定信号 $S_{V_{dcL}}$ を直流電圧指示値信号 $S_{V_{dcc}}$ として出力するため、誤差増幅回路 35 によって、直流電源部の出力電圧は下限電圧値設定信号 $S_{V_{dcL}}$ により設定された下限値に保たれる。

【0121】

上記のように、図 8 に示した第 1 の制御部 19' は、損失演算値 P_{loss} が第 1 の損失設定値 P_{lset1} を超えないときに、直流電源部の出力電圧 V_{dc} を適値に設定された直流電圧設定値 V_{dcset} に保つように制御する。また損失演算部 18 により演算された損失 P_{loss} が第 1 の損失設定値 P_{lset1} を超えたときには、下限値 V_{dcL} を下まわらない範囲で直流電源部 13 の出力電圧を低下させるように制御して増幅部 12 の出力を低下させ、損失演算値（増幅部で生じる損失） P_{loss} を減少させる。

【0122】

また図 9 に示した第 2 の制御部 20' においては、直流電源部の出力の目標値 V_{dco} が直流電圧 V_{dc} の下限値 V_{dcL} 以上であるときに、アナログスイッチ IC108 がオン状態になり、アナログスイッチ IC107 がオフ状態になるため、目標高周波出力信号発生回路 43 が、高周波出力設定信号 $S_{P_{fset}}$ に等しい電圧信号を目標高周波出力信号 $S_{P_{fo}}$ として出力する。このとき誤差増幅回路 45 は、高周波出力設定信号 $S_{P_{fset}}$ に等しい目標高周波出力信号 $S_{P_{fo}}$ と高周波出力検出信号 S_{P_f} との偏差を零にするために増幅部 12 のアンプの入力信号に乗じる係数値に相当する大きさの電圧信号を制御信号 V_{CT2} として出力し、この制御信号により増幅部 12 の出力が調整されるため、増幅部 12 から負荷に与えられる高周波出力が高周波出力設定信号により設定された大きさに近づくように調整される。

【0123】

これに対し、直流電源部の出力の目標値 V_{dco} が下限値 V_{dcL} を下回っているときには、アナログスイッチ IC107 がオン状態になり、アナログスイッチ IC108

がオフ状態になるため、目標高周波出力信号発生回路 43 は、高周波出力設定信号 S_{Pfset} から誤差増幅回路 42 の出力を減算した信号を目標高周波出力信号 S_{Pfo} として出力する。これにより、増幅部 12 で生じる損失を第 2 の損失設定値 P_{lset2} に制限するように高周波出力の目標値が変更される。誤差増幅回路 45 は、この目標高周波出力信号 S_{Pfo} と高周波出力検出信号 S_{Pf} との偏差を零にするために増幅部 12 のアンプの入力信号に乗じる係数値に相当する大きさの電圧信号を制御信号 V_{CT2} として出力し、この制御信号により増幅部 12 の出力が調整されるため、増幅部 12 の出力は、該増幅部で生じる損失を第 2 の損失設定値に等しくするように調整される。

【0124】

上記のように、図 9 に示した第 2 の制御部 20' は、高周波出力検出部 14 により検出される増幅部 12 の高周波出力 P_f が高周波出力設定値 P_{fset} からずれたときに、直流電源部 13 の出力電圧が下限値以上であれば、該高周波出力 P_f を高周波出力設定値 P_{fset} に戻すように増幅部 12 の出力を制御し、直流電源部 13 の出力電圧が下限値を下回ったときには、損失演算値 P_{loss} を第 1 の損失設定値 P_{lset1} に等しいか、または該第 1 の損失設定値 P_{lset1} よりも僅かに大きい値に設定された第 2 の損失設定値 P_{lset2} に等しくするように増幅部 12 の出力を制御する。

【0125】

なお図 1 に示した高周波電源装置に設ける第 1 の制御部 19 は、図 8 に示した回路から比較回路 36 を取り除いた回路により構成することができる。

【0126】

また図 1 に示した高周波電源装置に設ける第 2 の制御部 20 は、図 9 に示した目標高周波出力信号発生回路 43 と、極性反転回路 44 と、誤差増幅回路 45 とにより構成することができる。

【0127】

次に図 11 及び図 12 を参照して、図 3 の第 1 の制御部 19' 及び第 2 の制御部 20' をソフトウェア的に実現する場合の構成について説明する。

【0128】

図11は、第1の制御部19'を実現するために、コンピュータに実行させるプログラムのアルゴリズムを示したフローチャートである。図11において、 V_{dc} は直流電源部の出力電圧（直流電源電圧）を示し、 V_{dcset} は直流電源部の出力電圧の設定値（直流電圧設定値）を示している。また V_{dcL} は直流電源電圧の下限值の設定値を示し、 P_{loss} は損失演算値を示している。更に P_{lset1} は第1の損失設定値、 V_{dc1} は直流電源部の通常時の出力電圧の初期値を示し、 ΔV は固定値である微小電圧設定値を示している。

【0129】

図11のアルゴリズムによる場合には、先ずステップ1において直流電圧設定値 V_{dcset} を初期値 V_{dc1} として直流電源部13を起動させるための処理を行い、ステップ2において直流電源部が直流電源電圧 V_{dc} の出力を開始するのを待つ。直流電源電圧 V_{dc} の出力が開始されたと判定されたときにステップ3に進んで直流電源電圧 V_{dc} が設定値 V_{dcset} に等しくなるのを待ち、直流電源電圧 V_{dc} が設定値に等しくなったと判定されたときにステップ4に進んで増幅部12が高周波出力の発生を開始するのを待つ。

【0130】

ステップ4で高周波出力が開始されたと判定されたときに、ステップ5に進んで損失演算値 P_{loss} と第1の損失設定値 P_{lset1} とを比較する。最初は、損失演算値 P_{loss} が第1の損失設定値 P_{lset1} よりも小さいため、次いでステップ6に進んで直流電圧設定値の更新値 $A = V_{dcset} + \Delta V$ の演算を行い、ステップ7で直流電圧設定値の更新値 A が直流電圧設定値の初期値 V_{dc1} よりも高いか否かを判定する。起動時に最初にステップ7が実行されたときには、更新値 A が初期値 V_{dc1} よりも高いためステップ8に進む。ステップ8では初期値 V_{dc1} を直流電圧設定値 V_{dcset} として直流電源部の出力電圧を設定値 V_{dcset} に向けて上昇させるための処理を行う。その後ステップ9において直流電源部の出力電圧 V_{dc} が設定値 V_{dcset} に等しくなるのを待ち、直流電源部の出力電圧 V_{dc} が設定値 V_{dcset} （ $= V_{dc1}$ ）に等しくなったと判定されたときにステップ5に戻って再度損失演算値 P_{loss} と第1の損失設定値 P_{lset1} とを比較する。

【0131】

ステップ7において、直流電圧設定値の更新値Aが初期値V_{dc1}以下であると判定されたときには、ステップ10に進んで更新値Aを直流電圧設定値V_{dcset}として直流電源部の出力電圧を設定値V_{dcset}に向けて変化させる処理を行い、ステップ9で直流電源電圧V_{dc}が設定値V_{dcset}に等しくなるのを待つ。ステップ9で直流電源電圧V_{dc}が設定値V_{dcset} (= V_{dc1}) に等しくなったと判定されたときにステップ5に戻って再度損失演算値P_{loss}と第1の損失設定値P_{lset1}とを比較する。

【0132】

ステップ5において損失演算値P_{loss}を第1の損失設定値P_{lset1}と比較した結果、損失演算値P_{loss}が第1の損失設定値P_{lset1}を超えていると判定されたときには、ステップ11に進んで直流電圧設定値の更新値A = V_{dcset} - ΔVの演算を行った後ステップ12に進み、直流電圧設定値の更新値Aが下限値の設定値V_{dcL}よりも低いかなかを判定する。その結果Aが下限値の設定値V_{dcL}よりも低いと判定されたときにはステップ13に進んで下限値の設定値V_{dcL}を直流電圧設定値V_{dcset}として直流電源部の出力電圧を設定値V_{dcset}に向けて変化させる処理を行った後ステップ9に移行する。またステップ12で更新値Aが下限値V_{dcL}よりも高いと判定されたときにはステップ14に進んで更新値Aを直流電圧設定値V_{dcset}として、直流電源部の出力電圧を設定値V_{dcset}に向けて変化させる処理を行った後ステップ9に移行する。ステップ9では直流電源電圧V_{dc}が設定値V_{dcset}に等しくなるのを待ち、直流電源電圧V_{dc}が設定値V_{dcset}に等しくなったときにステップ5に戻る。

【0133】

ステップ5において損失演算値P_{loss}を第1の損失設定値P_{lset1}と比較した結果、損失演算値P_{loss}が第1の損失設定値P_{lset1}に等しいと判定されたときには、直流電圧設定値の更新値Aの演算を行うことなく、更新値Aが下限値V_{dcL}よりも低いかなかの判定を行うステップ12に移行する。

【0134】

図11のアルゴリズムによる場合、損失演算値P_{loss}が第1の損失設定値P_{lset1}よりも低いときには、損失演算値P_{loss}が第1の損失設定値P_{lset1}に等しく

なるまで、ステップ 5, 6, 7, 8 及び 9 が繰り返されるため、直流電源部の出力電圧は、損失演算値 P_{loss} が第 1 の損失設定値 P_{lset1} に等しくなるまで上昇させられ、損失演算値 P_{loss} が第 1 の損失設定値 P_{lset1} に等しくなったときにその上昇が止まる。また損失演算 P_{loss} が第 1 の損失設定値 P_{lset1} を超えたときには、ステップ 5, 11, 12, 14 及び 9 が繰り返されるため、損失演算値 P_{loss} が第 1 の損失設定値 P_{lset1} に等しくなるまで直流電源電圧が低下させられる。直流電源電圧が下限値の設定値 V_{dcL} よりも低くなったときには、ステップ 13 が実行されて、直流電源電圧が下限値に保持されるため、直流電源電圧が下限値よりも低くなって増幅部の動作が不安定になるのが防止される。

【0135】

次に図 12 は、第 2 の制御部 20' を実現するために、コンピュータに実行させるプログラムのアルゴリズムを示したフローチャートである。図 12 において、 P_{fset} は、増幅部 12 が出力する高周波電力（進行波電力）の設定値であり、 P_{f1} はキーボードなどを通して外部から与えられる高周波電力の設定入力値である。また P_f は高周波出力検出部 14 により検出される高周波電力出力値であり、 V_{dc} は直流出力検出部 17 により検出される直流電源電圧である。また V_{dcL} は直流電源電圧 V_{dc} の下限値、 P_{loss} は損失演算値、 P_{lset2} は第 2 の損失設定値、 ΔP は固定値である微小なパワー設定値である。

【0136】

図 12 のアルゴリズムによる場合には、ステップ 1 において直流電源電圧 V_{dc} の出力が開始されたか否かの判定を行い、直流電源電圧の出力が開始されたときにステップ 2 に進んで高周波電力設定入力値 P_{f1} を高周波電力設定値 P_{fset} とする。次いでステップ 3 において増幅部 12 が高周波電力の出力を開始したか否かを判定し、高周波電力の出力が開始されたときにステップ 4 に移行する。ステップ 4 では、直流電源電圧 V_{dc} が下限値 V_{dcL} 以下であるか否かを判定し、直流電源電圧 V_{dc} が下限値 V_{dcL} 以下でない場合には、ステップ 5 に移行して高周波電力設定入力値 P_{f1} を高周波電力設定値 P_{fset} として増幅部 12 の出力を高周波電力設定値 P_{fset} に等しくするための処理を行う。次いでステップ 6 において高周波電力出力値 P_f が設定値 P_{fset} に等しくなるのを待ち、高周波電力出力値 P_f

が設定値 P_{fset} に等しくなったと判定されたときにステップ 4 に戻る。

【0137】

ステップ 4 において、直流電源電圧 V_{dc} が下限値 V_{dcL} 以下であると判定されたときには、ステップ 7 に移行して損失演算値 P_{loss} を第 2 の損失設定値 P_{lset2} と比較する。その結果、損失演算値 P_{loss} が第 2 の損失設定値 P_{lset2} よりも小さいと判定されたときには、ステップ 8 に移行して高周波電力設定値 P_{fset} に微小パワー設定値 ΔP を加算したもの ($P_{fset} + \Delta P$) を新たな高周波出力設定値 P_{fset} として増幅部の出力を高周波出力設定値に等しくするための処理を行った後、ステップ 7 に戻る。ステップ 7 及び 8 を繰り返した結果、ステップ 7 において、損失演算値 P_{loss} が第 2 の損失設定値 P_{lset2} に等しくなったと判定されたときにステップ 4 に戻る。

【0138】

ステップ 7 において損失演算値 P_{loss} が第 2 の損失設定値 P_{lset2} よりも大きいと判定されたときには、ステップ 9 に移行して高周波電力設定値 P_{fset} から微小パワー設定値 ΔP を減じたもの ($P_{fset} - \Delta P$) を新たな高周波電力設定値 P_{fset} として増幅部の出力を高周波電力設定値に等しくするための処理を行った後ステップ 7 に戻る。ステップ 7 及びステップ 9 が繰り返されることにより、ステップ 7 で損失演算値 P_{loss} が第 2 の損失設定値 P_{lset2} に等しいと判定されたときにステップ 4 に戻る。

【0139】

上記のように、図 12 に示したアルゴリズムによる場合には、直流電源電圧 V_{dc} が下限値 V_{dcL} に等しくないときに増幅部 12 が出力する高周波電力が高周波電力設定入力 P_{f1} に等しくなるように増幅部 12 の出力が制御される。また直流電源電圧 V_{dc} が下限値 V_{dcL} に等しいときには、損失演算値 P_{loss} が第 2 の損失設定値 $PL2$ に等しくなるように増幅部の出力が制御される。

【0140】

上記の例では、直流電源電圧が下限値以上であるときに高周波出力検出部により検出される増幅部の高周波出力を高周波出力設定値に近づけるように増幅部の出力を制御するようにしたが、増幅部の出力を制御する代わりに発振部の出力を

制御するようにしてもよい。

【0141】

図1に示した実施形態では、直流電源部13から増幅部12に与えられる直流電力 P_{dc} から進行波電力 P_f を差し引いたものに反射波電力 P_r を加えることにより増幅部で生じた損失 P_{loss} を演算して、演算された損失が損失設定値を超えたことが検出されたときに、直流電源電圧 V_{dc} を低下させて損失を損失設定値まで減少させる制御を行うように第1の制御部19を構成している。このように構成すると、増幅部の各半導体素子を通る電流を検出したり、各半導体素子に印加される電圧を検出したりする必要がないため、コストの低減を図ることができるが、本発明はこのように増幅部で生じる損失を演算する場合に限定されるものではなく、増幅部12を構成する半導体素子で生じる損失を演算するように損失演算部を構成して、損失演算部により演算される損失が損失設定値を超えたことが検出されたときに、直流電源電圧を低下させて演算される損失を損失設定値まで減少させる制御を行うように第1の制御部19を構成してもよい。

【0142】

増幅部を構成する半導体素子で生じる損失は、該半導体素子に印加される電圧と該半導体素子を通る電流との積から求めることができる。例えば半導体素子がMOSFETである場合には、そのドレインソース間の電圧 V_{ds} 及びドレイン電流 I_d をそれぞれ検出する電圧検出器及び電流検出器を設けて、検出された V_{ds} と I_d の積 $V_{ds} \times I_d$ の演算を行うことにより、半導体素子で生じている損失を求めることができる。増幅部が複数の半導体素子により構成される場合には、すべての半導体素子について損失を演算して演算された損失の内の最大のものを損失設定値まで減少させる制御を行わせるように第1の制御部を構成してもよく、増幅部を構成する半導体素子の中から選択した少なくとも1つの半導体素子で生じている損失を求めて、その損失を損失設定値まで減少させる制御を行わせるように第1の制御部を構成してもよい。

【0143】

このように、増幅部を構成する半導体素子で生じている損失自体を演算して、演算された損失が損失設定値を超えたことが検出されたときに、演算される損失

を損失設定値まで減少させる制御を行うと、半導体素子の保護をよりの確に行わせることができる。

【0144】

同様に、図3に示した実施形態においても、増幅部を構成している半導体素子で生じている損失を演算するように損失演算部を構成することができる。

【0145】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、増幅部で生じる損失が損失設定値を超えたことが検出されたときに、第1の制御部により直流電源電圧を低下させて損失を損失設定値まで減少させる制御を行うと同時に、第2の制御部により高周波出力を設定値に向けて上昇させる制御を行うようにしたので、増幅部で大きな損失が生じる負荷が接続されたときに、該損失を損失設定値（許容損失）に抑えつつ負荷に供給し得る高周波電力（進行波電力または有効電力）を従来よりも大きくすることができる。また増幅部で生じる損失は常に損失設定値に制限されるため、増幅部を構成する半導体素子が破損するのを防ぐことができる。

【0146】

更に本発明において、直流電源電圧に対して下限値を設定して第1の制御部により直流電源電圧が下限値を下回らない範囲で直流電源電圧を低下させる制御を行い、直流電源電圧が下限値を下回ったときに、第2の制御部により、損失演算値を第1の損失設定値に等しいかまたは第1の損失設定値よりも僅かに大きい値に設定された第2の損失設定値に等しくするように発振部または増幅部の出力を制御するように構成した場合には、直流電源電圧を下限値以下に低下させることなく増幅部で生じる損失を制限する制御を行わせることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施形態の構成を示したブロック図である。

【図2】

図14に示す一組の増幅器を用いて増幅部を構成した図1の高周波電源装置に特定の負荷を接続したときの増幅部のFETのドレイン電圧 V_{ds} 、ドレイン電流

I_d 、増幅部の高周波出力電圧 V_{out} 、高周波出力電流 I_{out} 及び損失 $V_{ds} \times I_d$ のシミュレーション波形を示した波形図である。

【図 3】

本発明の他の実施形態の構成を示したブロック図である。

【図 4】

本発明に係わる高周波電源装置で用いる直流電源部の一構成例を示した回路図である。

【図 5】

本発明に係わる高周波電源装置で用いる直流電源部の他の構成例を示した回路図である。

【図 6】

本発明に係わる高周波電源装置で用いる直流電源部の更に他の構成例を示した回路図である。

【図 7】

図 4 ないし図 6 に示した直流電源部で用いることができる入力段の整流回路の他の構成例を示した回路図である。

【図 8】

図 3 の実施形態に設ける第 1 の制御部をハードウェア回路で実現する場合の回路構成を示した回路図である。

【図 9】

図 3 の実施形態に設ける第 2 の制御部をハードウェア回路で実現する場合の回路構成を示した回路図である。

【図 10】

図 1 及び図 3 に示した実施形態に設ける増幅部の構成例を示したブロック図である。

【図 11】

図 3 の実施形態に設ける第 1 の制御部をソフトウェア的に実現する場合にコンピュータに実行させるプログラムのアルゴリズムを示すフローチャートである。

【図 12】

図3の実施形態に設ける第2の制御部をソフトウェア的に実現する場合にコンピュータに実行させるプログラムのアルゴリズムを示すフローチャートである。

【図13】

従来の高周波電源の基本的な構成を示した回路図である。

【図14】

高周波電源で用いられる増幅器の構成例を示した回路図である。

【図15】

高周波電源で用いられる増幅器の他の構成例を示した回路図である。

【図16】

図14に示した増幅器を動作させたときのFETのドレインソース間電圧 V_{ds} 、ドレイン電流 I_d 、増幅器の出力電圧 V_{out} 、出力電流 I_{out} 及びFETのドレイン損失 $V_{ds} \times I_d$ のシミュレーション波形を示した波形図である。

【図17】

図14に示した増幅器に特定の負荷が接続されたときのFETのドレイン電圧 V_{ds} 、ドレイン電流 I_d 、増幅器の出力電圧 V_{out} 、出力電流 I_{out} 及びFETのドレイン損失 $V_{ds} \times I_d$ のシミュレーション波形を時間に対して示した波形図である。

【図18】

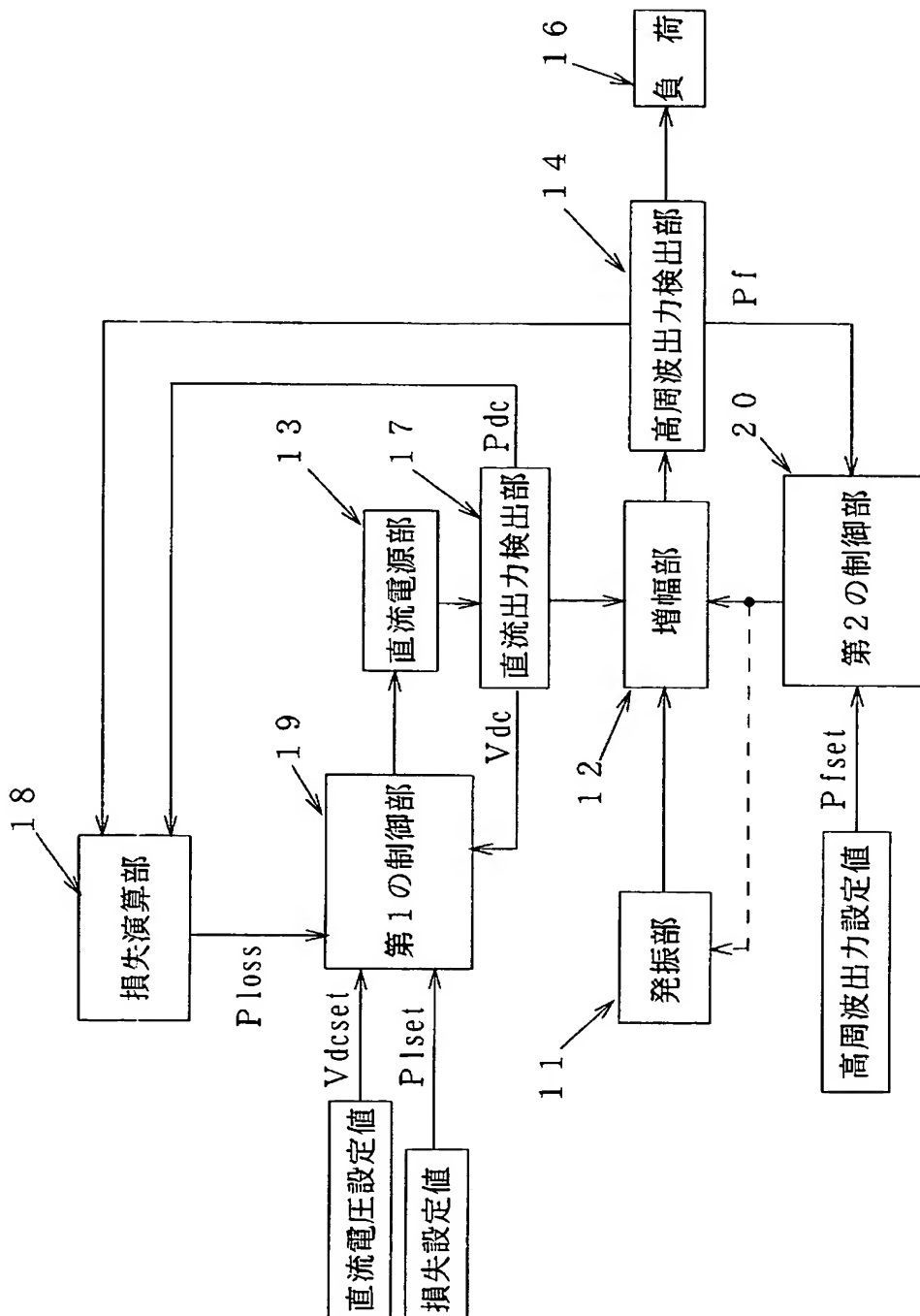
図14に示した増幅器に特定の負荷が接続されたときに入力信号を大きくしてFETの損失(平均値)を約500[W]としたときのFETのドレインソース間電圧 V_{ds} 、ドレイン電流 I_d 、増幅器の出力電圧 V_{out} 、出力電流 I_{out} 及びFETのドレイン損失 $V_{ds} \times I_d$ のシミュレーション波形を示した波形図である。

【符号の説明】

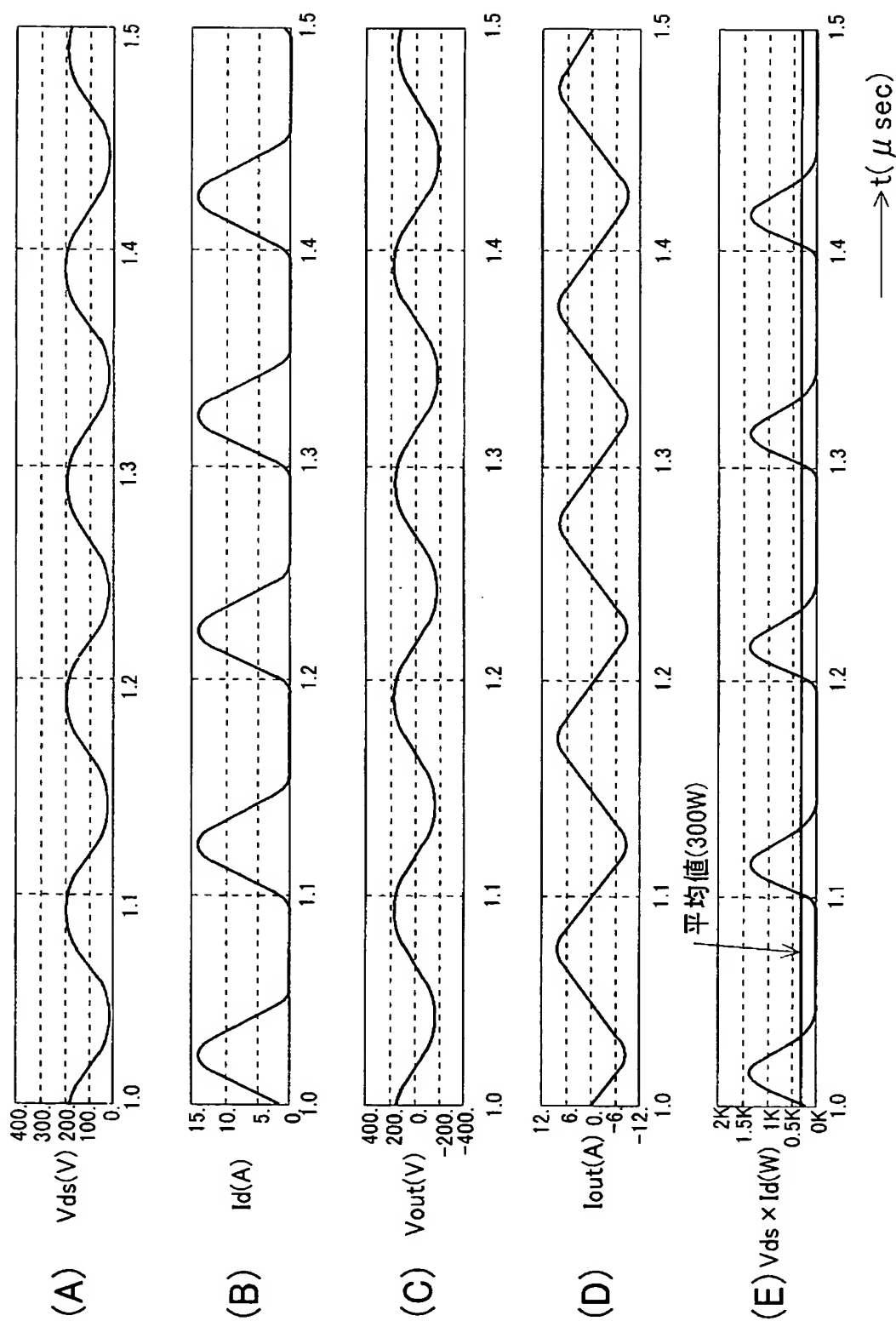
11…発信部、12…増幅部、13…直流電源部、14…高周波出力検出部、16…負荷、17…直流出力検出部、18…損失演算部、19, 19'…第1の制御部、20, 20'…第2の制御部。

【書類名】 図面

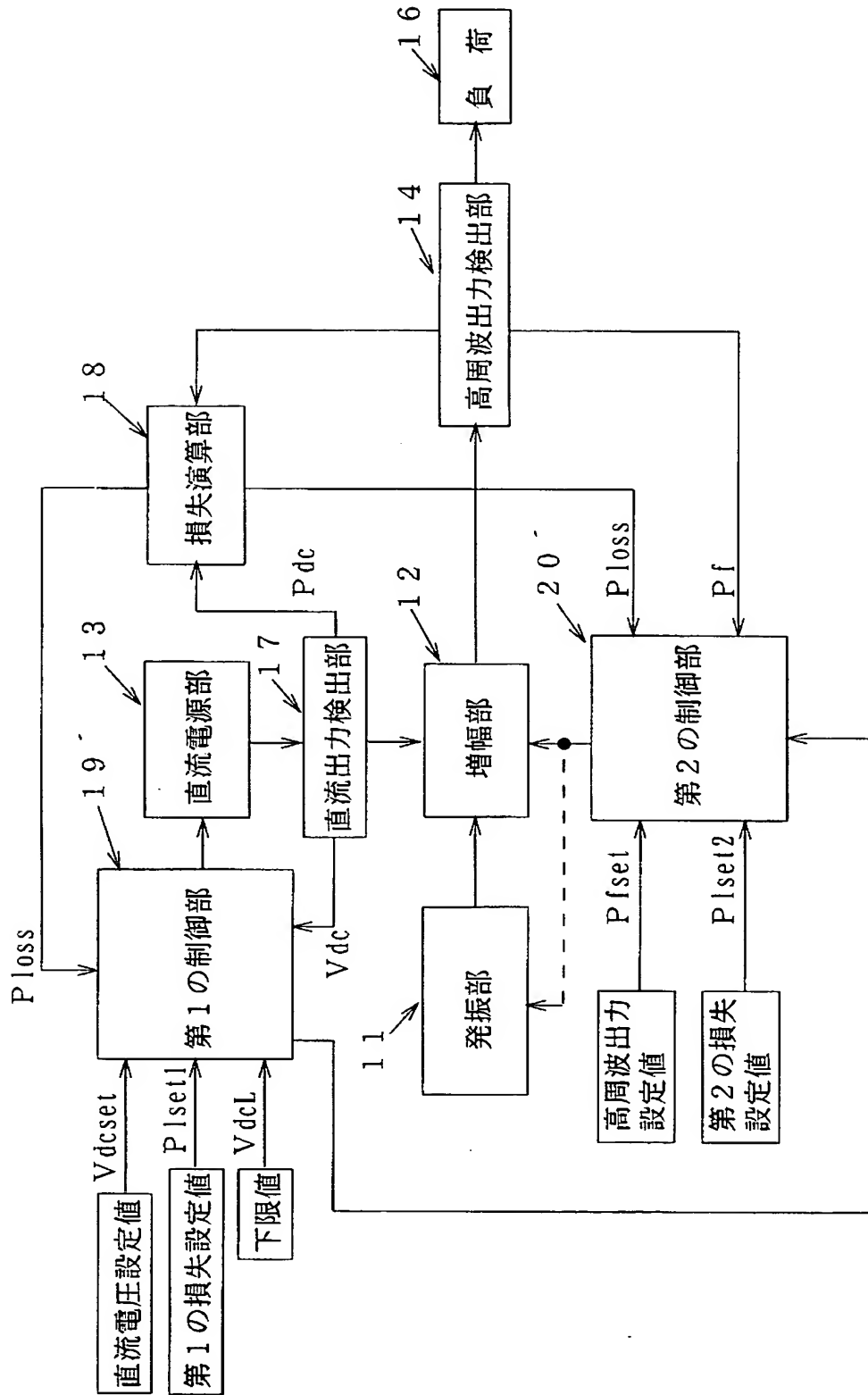
【図 1】



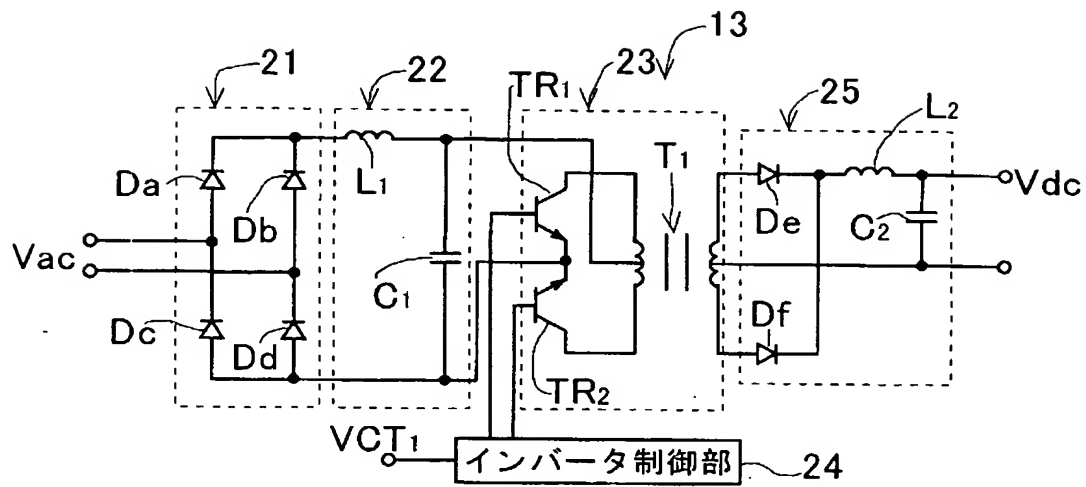
【図 2】



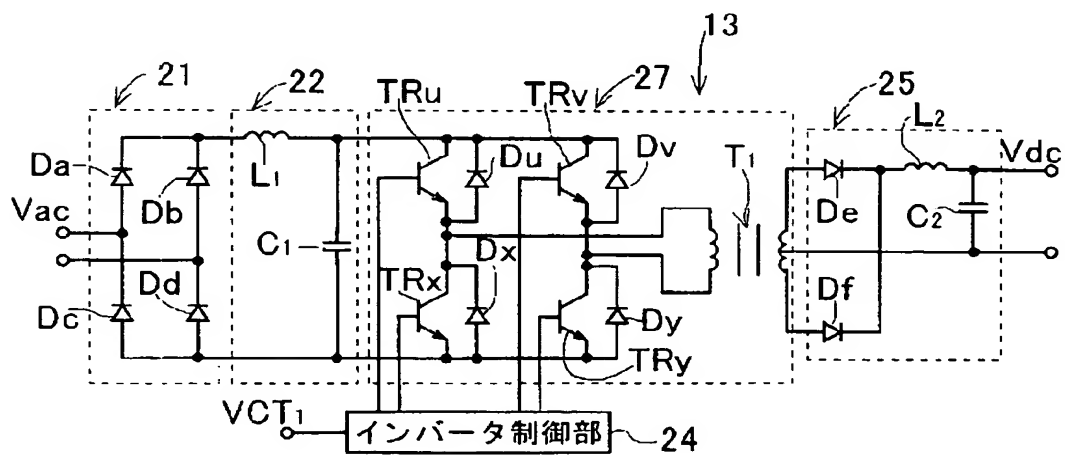
【図 3】



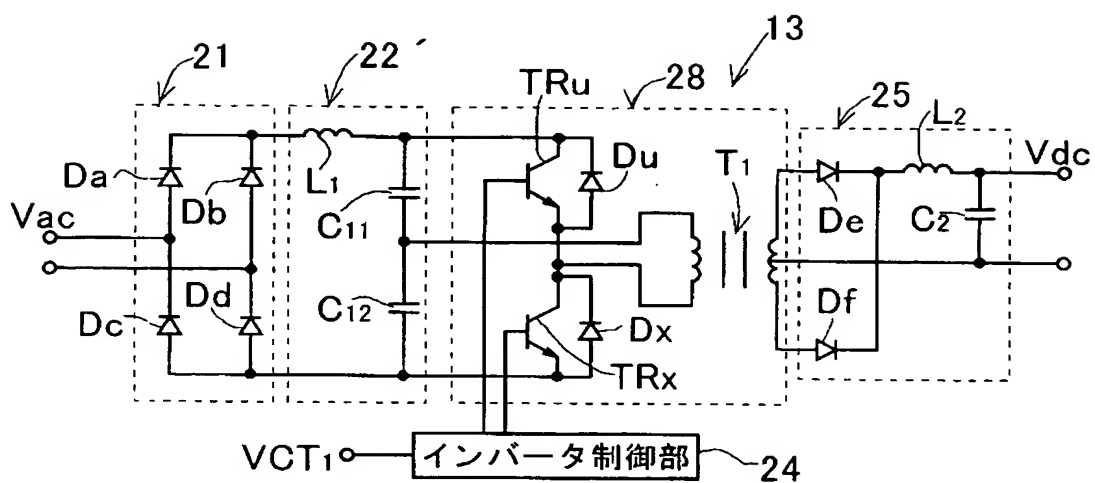
【図 4】



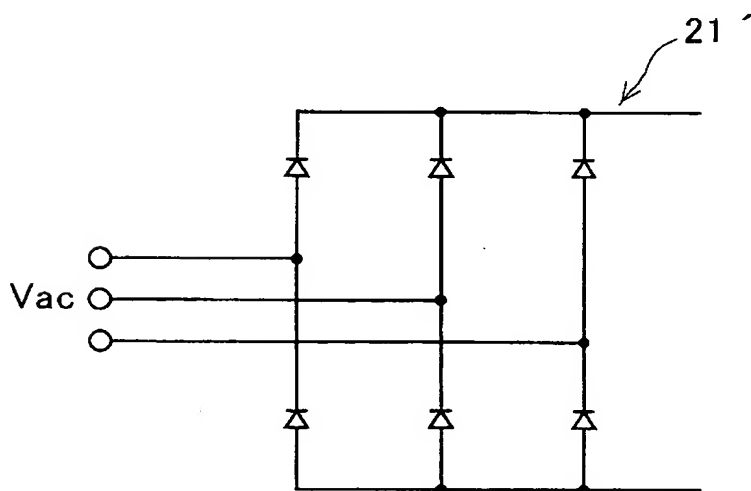
【図 5】



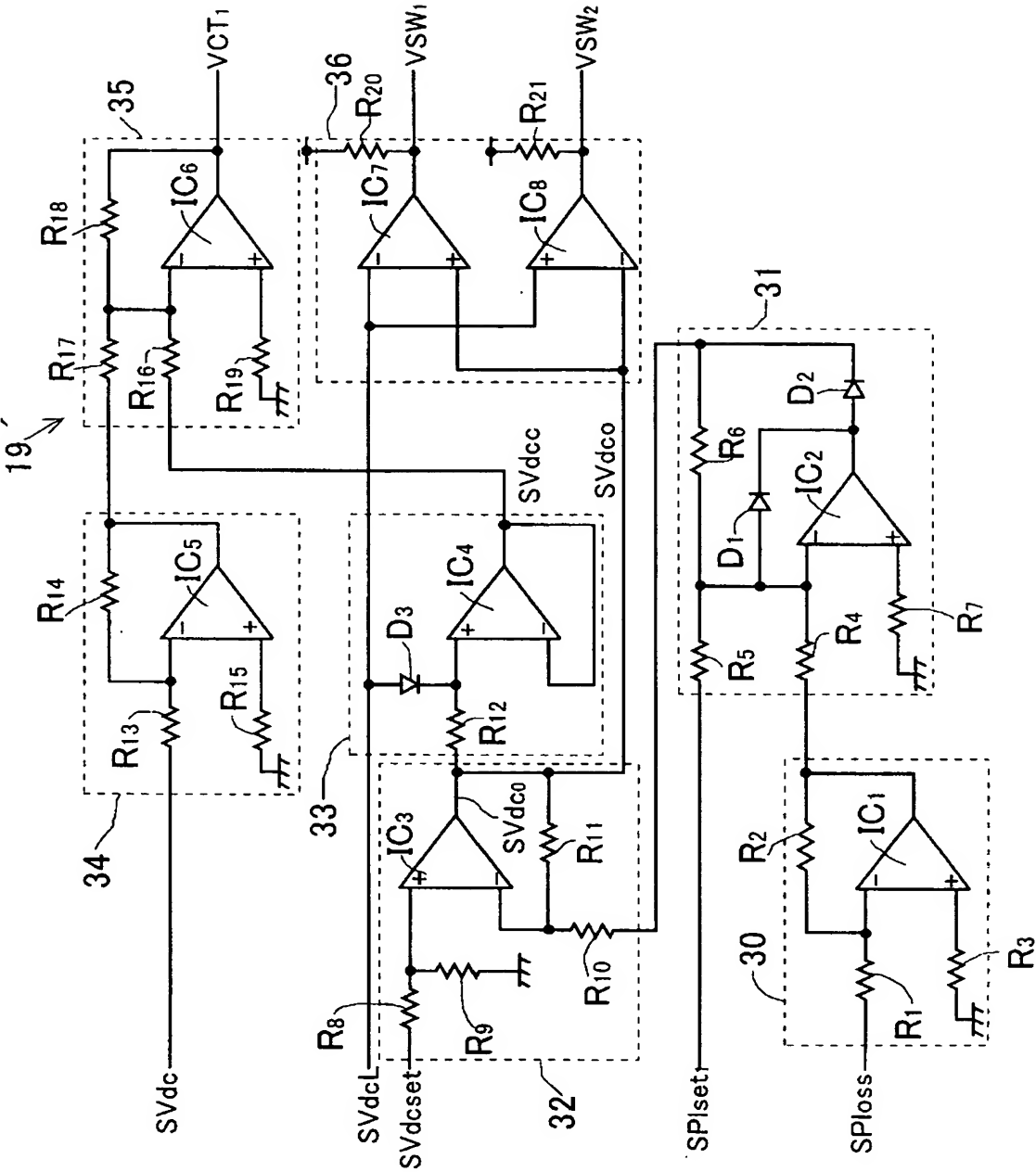
【図 6】



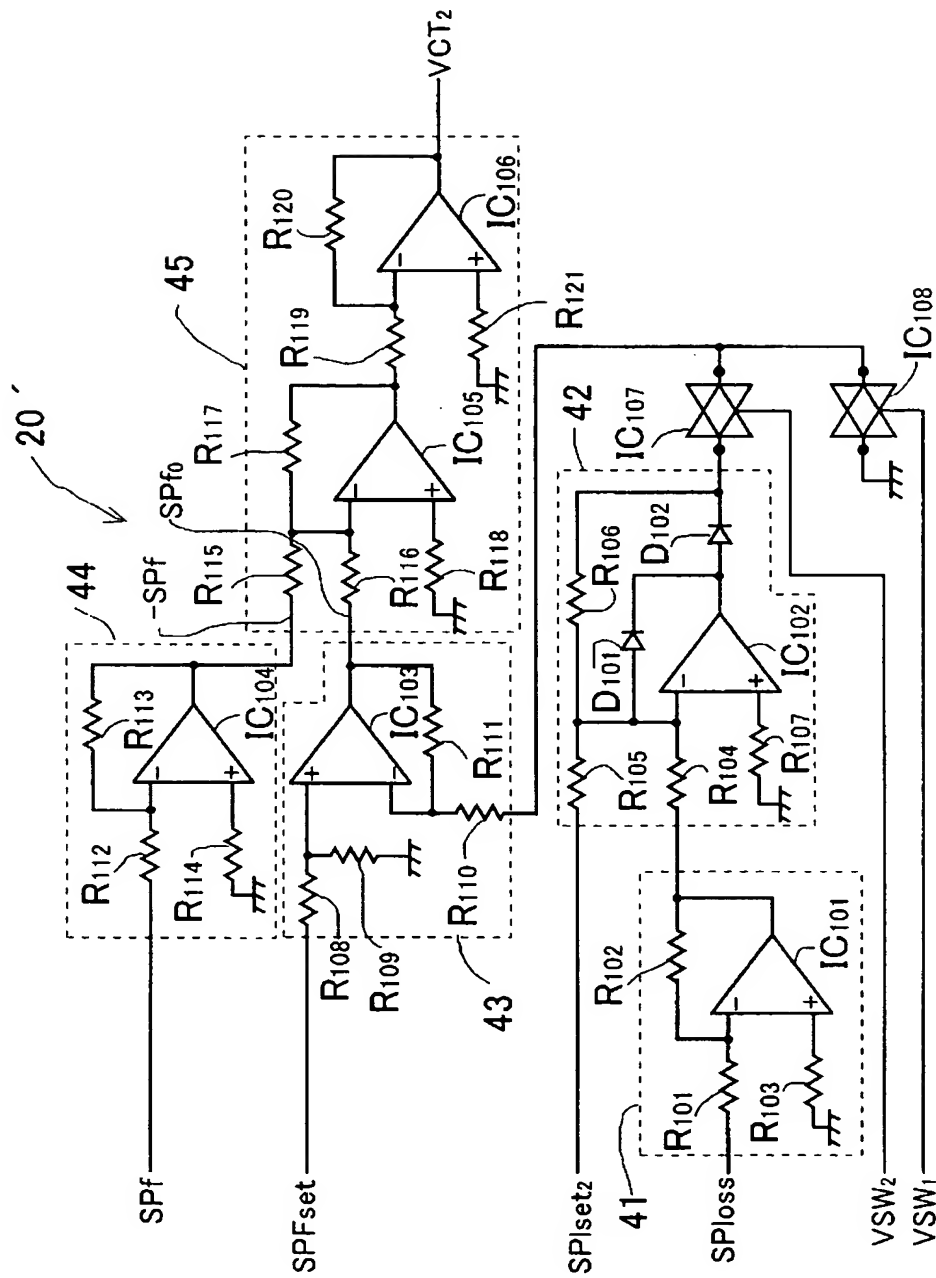
【図 7】



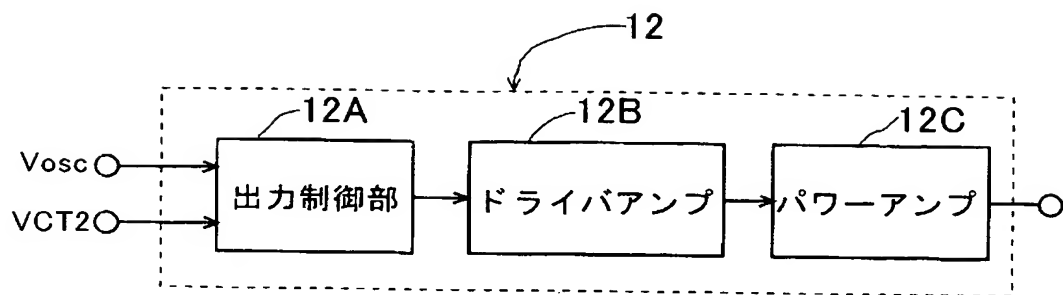
【図 8】



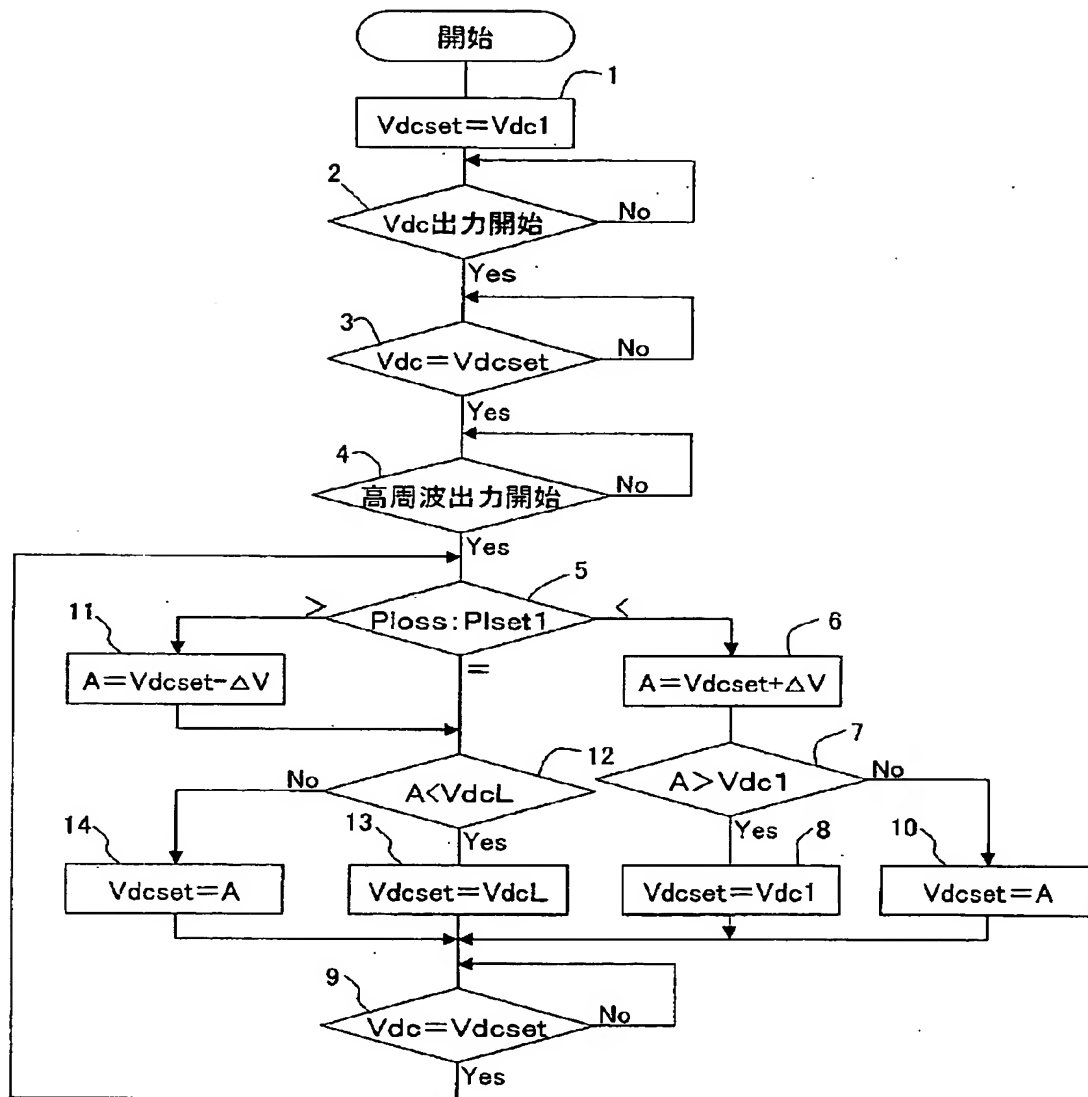
【図 9】



【図 10】

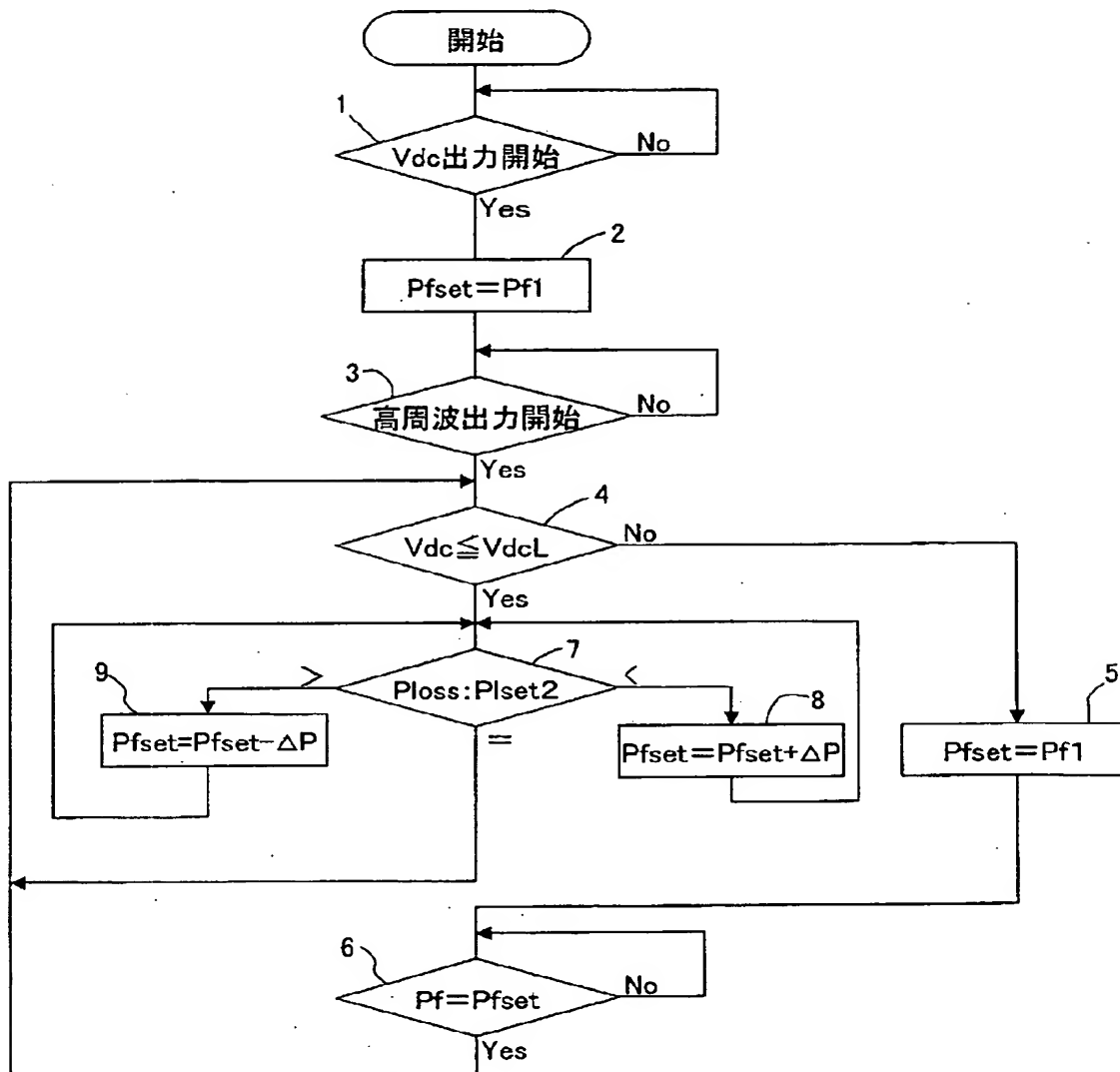


【図 11】



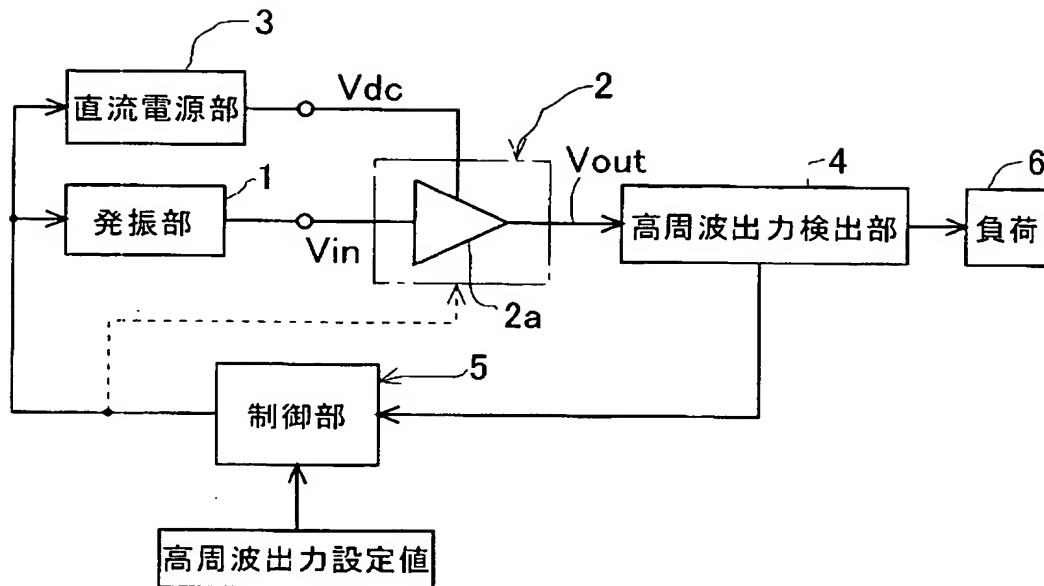
Vdc... 直流電源部の出力電圧
 Vdcset... Vdc設定電圧
 VdcL... Vdc下限設定電圧
 Ploss... 損失演算値
 Plset1... 第1の損失設定値
 Vdc1... 直流電源部の通常時の出力電圧設定値(初期値)
 ΔV... 固定の小さな電圧設定値

【図 12】

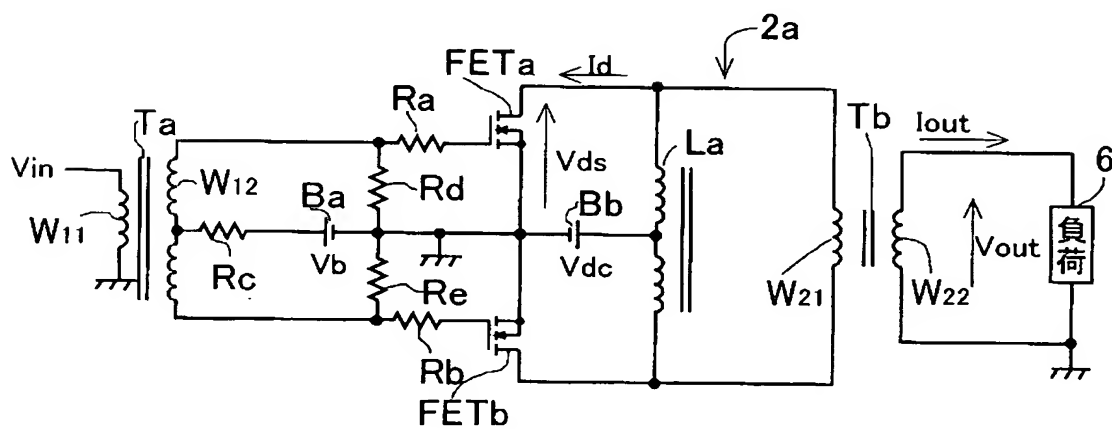


Pfset... 進行波電力設定値
 Pf1... 進行波電力設定入力
 Pf... 進行波電力出力値
 Vdc... 直流電源部の出力電圧
 VdcL... Vdc下限設定電圧
 Ploss... 損失演算値
 Plset2... 第2の損失設定値
 ΔP... 固定の小さなパワー設定値

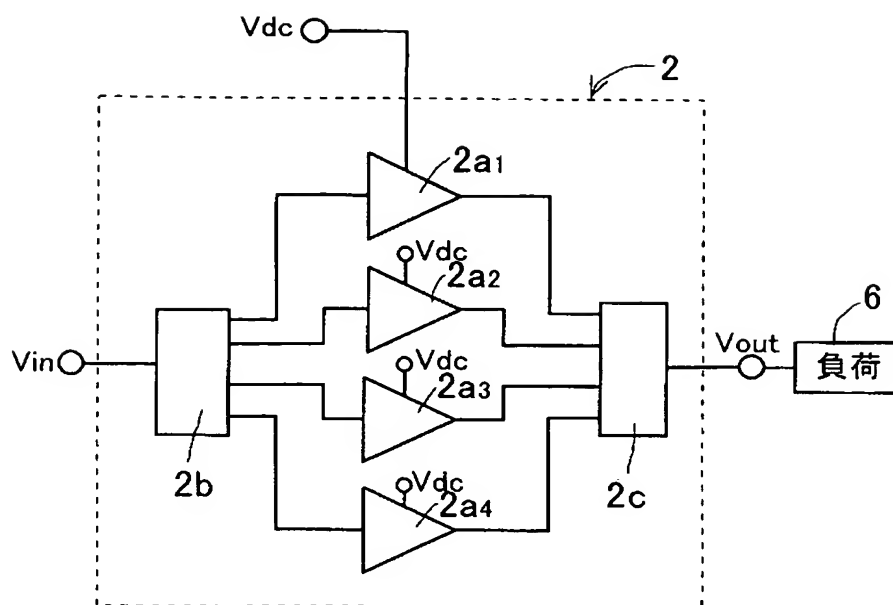
【図 13】



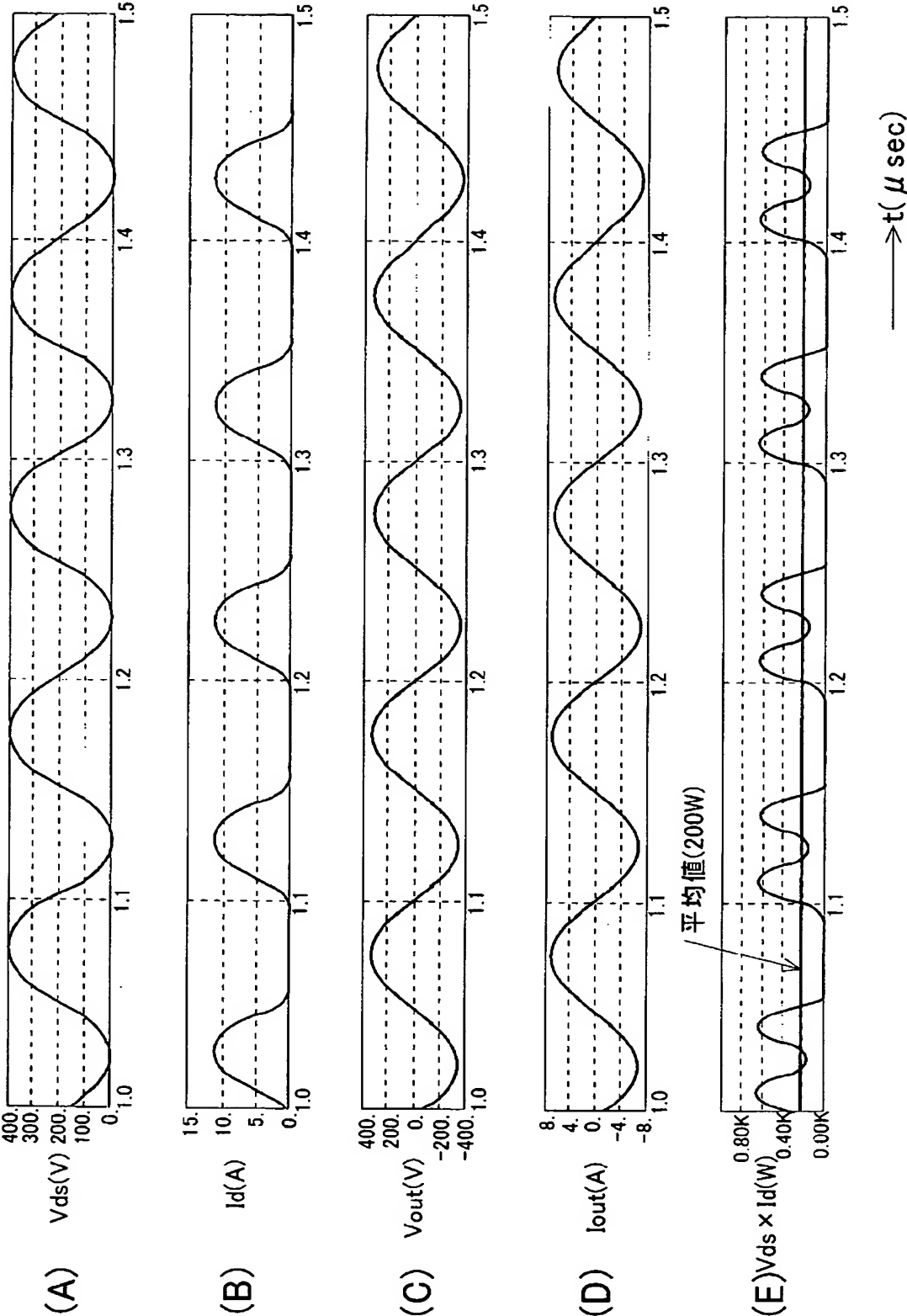
【図 14】



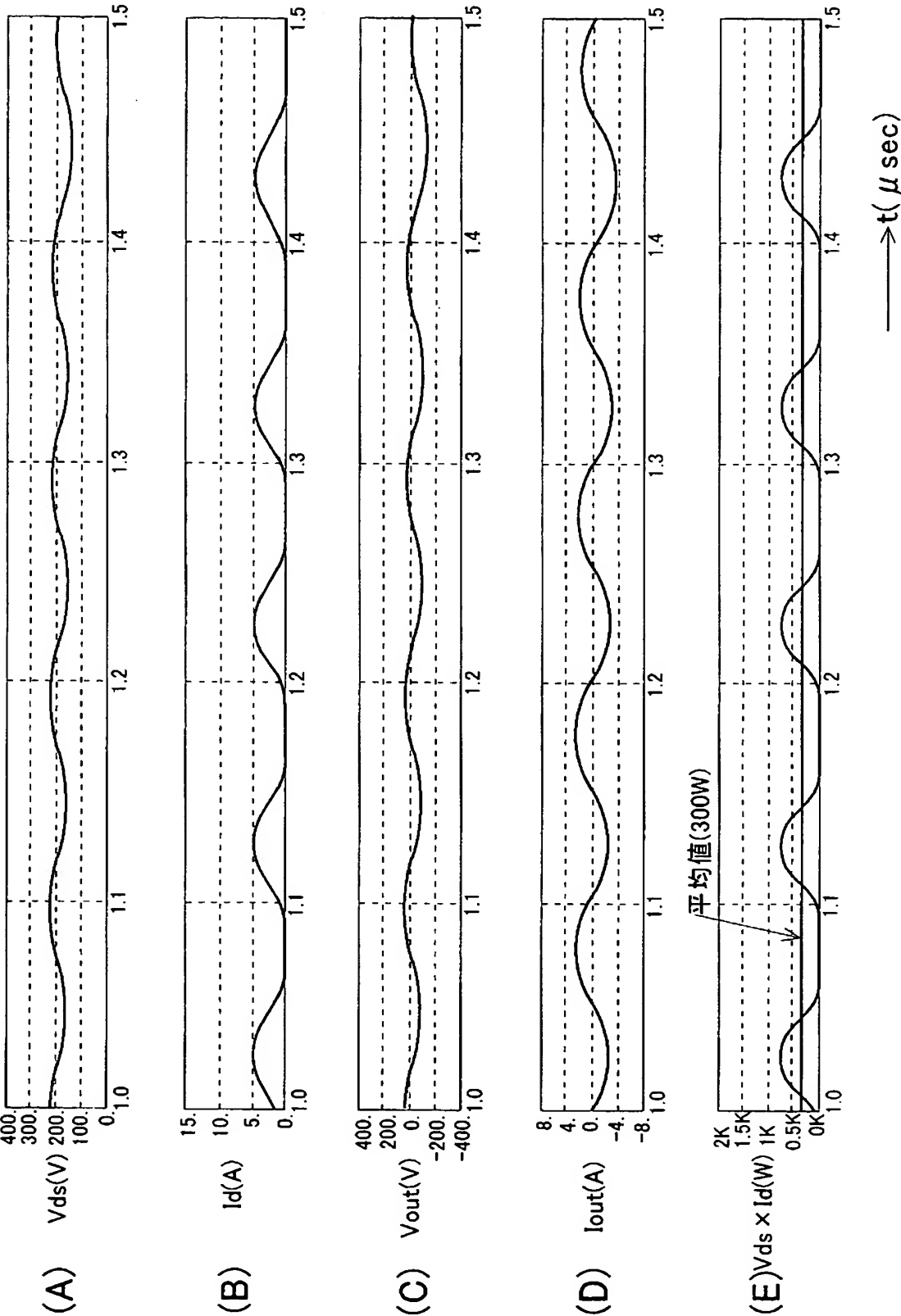
【図 15】



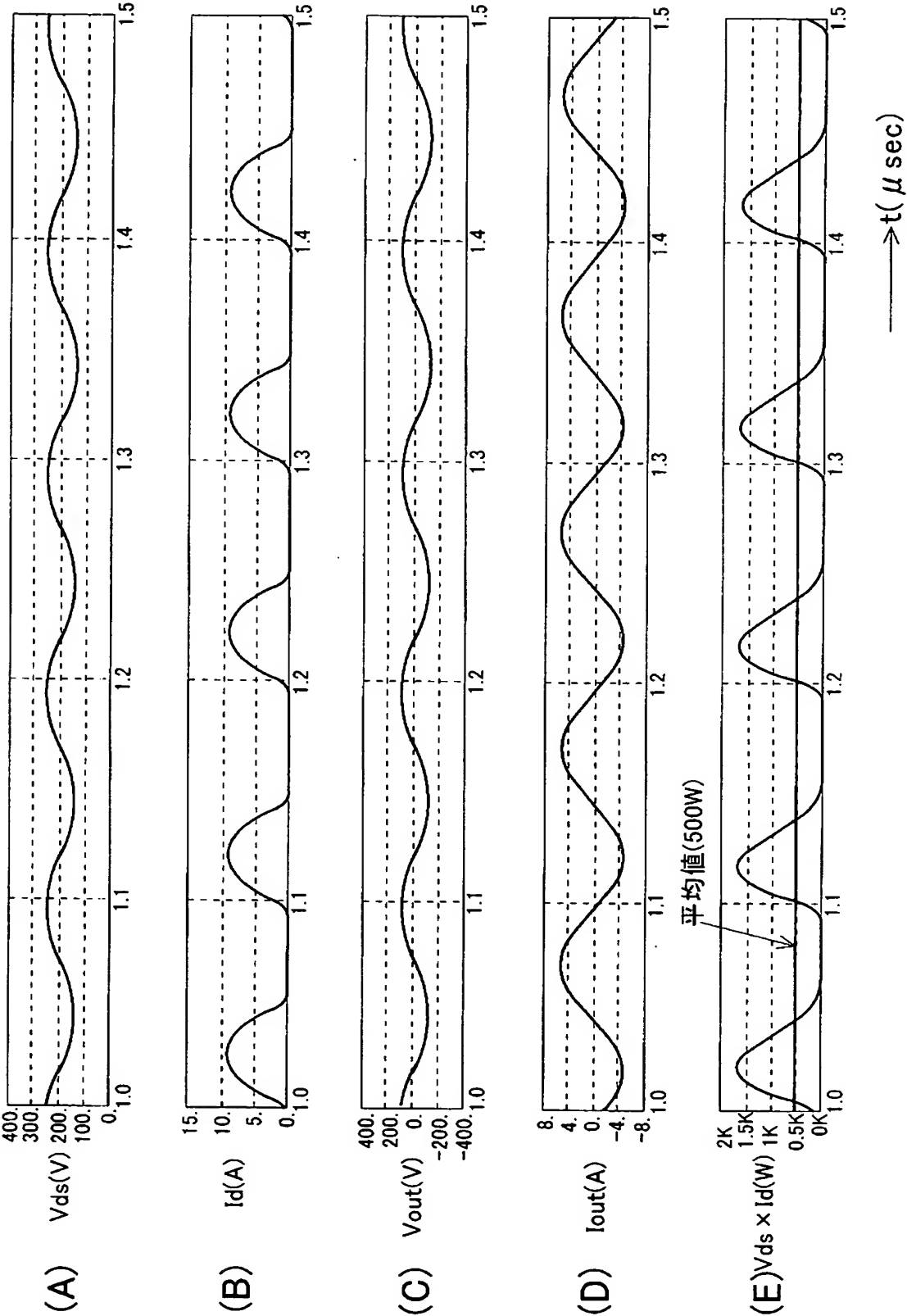
【図 16】



【図 17】



【図 18】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】増幅器を破損することなく、従来より大きい高周波出力を負荷に供給することができる高周波電源装置を提供する。

【解決手段】増幅部12で生じる損失を演算する損失演算部18と、演算された損失演算値が予め設定された損失設定値を超えたときに損失演算値が損失設定値に等しくなるまで直流電源部13から増幅部12に供給する直流電源電圧を低下させる制御を行い、損失演算値が損失設定値以下のときには直流電源部13から増幅部12に供給する直流電源電圧を適値に保つ制御を行う第1の制御部19と、増幅部から負荷に供給される高周波出力を高周波出力設定値に近づけるように増幅部12の出力を制御する第2の制御部とを設けた。

【選択図】 図1



特願 2 0 0 3 - 0 3 1 4 0 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 0 2 6 2]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 1 1 号

氏 名

株式会社ダイヘン